VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

НИИЭИНФОРМЭНЕРГОМАШ



ГАЗОТУРБИННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

ОТРАСЛЕВОЙ КАТАЛОГ

[277]

МОСКВА·1985

УДК 621.438

В каталог включены газотурбинные энергетические и технологические установки, а также газовая утилизационная бескомпрессорная турбина (ГУБТ), утилизирующая энергию газов под колошником доменной печи.

По каждой установке указаны назначение, краткое описание конструкции, габаритные размеры, технические характеристики, завод-изготовитель. Номенклатура и данные по оборудованию, выпускаемому заводами-изготовителями и предназначенному для внутрисоюзных поставок, приведены по состоянию на 1 января 1985 г.

Для каждой газотурбинной установки дано кодовое обозначение изделия по Общесоюзному классификатору промышленной и сельскохозяйственной продукции (Код по ОКП) Госплана СССР, Госстандарта СССР и Минэнергомаша СССР (Ленинград, Рио НПО ЦКТИ, 1978) и индекс Универсальной десятичной классификации (УДК).

Каталог составлен НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова по материалам, представленным Производственным объединением атомного турбостроения «Харьковский турбинный завод» им. С. М. Кирова (ПО «Турбоатом»), производственным объединением «Турбомоторный завод» (ПО «Турбомоторный завод» им. К. Е. Ворошилова), производственным объединением турбостроения «Ленинградский Металлический завод» (ПО «Ленинградский Металлический завод») и Дальневосточным заводом энергетического машиностроения (Дальэнергомаш).

Материалы каталога подготовили Ю. Г. Корсов, В. Б. Федченко, В. А. Калинкевич. Раздел «Газотурбинные установки для привода генераторов зарубежных фирм» подготовлен Н. А. Меняйловой.

© Научно-исследовательский институт экономики, организации производства и технико-экономической информации в энергетическом машиностроении, 1985.

В последние годы газотурбинные установки получают все более широкое применение в различных отраслях промышленности. Причиной этого являются характерные качества газотурбинного двигателя: простота тепловой схемы, относительная простота конструкции, малая масса, приходящаяся на единицу мощности, высокая маневренность, сравнительно простая автоматизация и эксплуатация. Кроме того, в последние годы имеются значительные достижения как в области аэродинамики турбомашин, так и в разработке жаропрочных сталей и сплавов. Успехи аэродинамики и металлургии позволили поднять тепловую экономичность газотурбинных установок и создать предпосылки для внедрения их в различные области народного хозяйства.

К разработке первой промышленной газовой турбины приступил в 1945 г. Невский машиностроительный завод им. В. И. Ленина (НЗЛ). На заводе была создана первая стационарная установка для газоперекачивающих станций ГТ-700-4. Успешно применяются на газопроводах газотурбинные установки НЗЛ типа ГТ-700-5, ГТ-750-6, ГТК-10. В последние годы на заводе была создана мощная ГТН-25, которая призвана обеспечить возросшие темпы газодобычи.

Особенно быстрое развитие стационарного газотурбостроения началось в 1966—1967 гг. Высокие темпы роста выпуска стационарных ГТУ определяются нуждами газовой промышленности в газоперекачивающих агрегатах. Газовая промышленность является основным потребителем производимых в СССР стационарных ГТУ. Такие ГТУ служат для привода центробежных нагнетателей природного газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов. Число компрессорных станций в стране постоянно увеличивается, вследствие роста добычи природного газа и удаления районов добычи от мест потребления на сотни и тысячи километров.

Экономическая целесообразность применения ГТУ для привода нагнетателя природного газа была подтверждена опытом успешной эксплуатации первой серии ГТ-700-4 на магистральном газопроводе Ставрополь — Москва.

Советские приводные ГТУ работают также на зарубежных газопроводах (установка ГТК-10-3 на Трансиранском магистральном газопроводе).

К отраслям промышленности, где применение газовых трубин создает большие преимущества, относится также доменное производство. Для работы домны требуется воздух повышенного давления, который подается в печь воздуходувкой. Для привода воздуходувки может быть использован газотурбинный двигатель. ГТУ может служить приводом электрогенератора при работе на утилизируемом тепле доменного газа. ПО ТМЗ выпускает типоразмерный ряд газовых утилизационных турбин, работающих на доменном газе и предназначенных для выработки электроэнергии.

В промышленности применяется много химических процессов с экзотермическими реакциями, теплота которых может быть эффективно использована в ГТУ. Таким является, в частности, процесс получения азотной кислоты и процесс обжига серного колчедана при производстве серной кислоты. ГТУ можно применять при процессах производства ацетилена, аммиака, бутадиена, этилена, пропилена, кислорода и других, в которых требуются большие расходы воздуха. Для химической промышленности в ПО «Невский завод» им. В. И. Ленина со-

зданы агрегаты ГТТ-3М и КМА-2, работающие в технологическом цикле производства слабой азотной кислоты.

По назначению все энергетические ГТУ для выработки электрической и тепловой энергии на электростанциях делятся на базовые, полупиковые и пиковые, а также оперативного резерва. Такое деление условно и связано с выделением в графике нагрузки крупных энергосистем соответствующих зон. К пиковым, как правило, относятся установки с временем работы 500—2000 ч в год, к полупиковым — работой 2000—6000 ч в год, а свыше 6000 ч в год — к базовым. Оперативный резерв — до 500 ч работы в год.

В развитии газотурбинных установок энергетики ближайших лет наметилось создание воздушно-аккумулирующих газотурбинных установок (ВАГТУ). Их следует считать наиболее подходящими для покрытия пиковой и частично полупиковой нагрузки в энергосистемах европейской части.

Помимо возможности расширенного применения газовых турбин в установках различного типа: ГТУ, ПГУ, ВАГТУ осуществляется возможность их собственного совершенствования.

Одной из примечательных особенностей современного развития газовых турбин является тенденция увеличения температуры рабочих газов, и это в значительной степени определяет возможности дальнейшего совершенствования как автономных ГТУ, так и любых сложных энергетических установок, в которые входит газовая турбина как элемент, в частности существенно повышается единичная мощность и КПД газотурбинных установок.

Газотурбинная установка ГТ-35-770

КОД ОКП 31 1121 1205

Газотурбинная установка ГТ-35-770 (рис. 1), изготовляемая (ПО «Турбоатом»), предназначена для выработки электроэнергии в составе парогазовой установки (ПГУ) с высоконапорным парогенератором и в составе ПГУ со сбросом отработавших газов в котел, а также в качестве автономной ГТУ с утилизацией или без утилизации тепла уходящих газов.

Установка ГТ-35-770 предназначена для работы в базовом, полупиковом и пиковом режимах. Ниже приведены номинальные параметры установки по ИСО в стандартных условиях (температура наружного воздуха +15° С, полное давление на выходе из турбины — $1{,}033 \times 10^5$ Па, топливо — природный газ).

Техническая характеристика газотурбинной установки ГТ-35-770

Мощность, МВт	32,2
Максимальная мощность (при температуре наружного воздуха — 40° С), МВт	50
Температура, °С:	
газа перед турбиной	770
выхлопных газов	440
Расход газа на выхлопе, кг/с	218,0
Общая степень повышения давления	6,3
КПД установки, %	24,0
Тепловая нагрузка, Гкал/ч	51,0
Вид топлива	Жидкое, газотурбинное, природный газ
Удельная масса турбогруппы, кг/кВт	4,8
Число ступеней:	
турбины	4
компрессора	14
Длина турбогруппы, м	13,5
Ресурс, ч:	
в базовом режиме	100 000
в пиковом режиме	20 000
Время пуска и полного набора нагрузки, мин	30

Конструкция газотурбинной установки. Газотурбинная установка ГТ-35-770 — одновальная, выполнена по простейшей схеме (рис. 2). Состоит из осевого компрессора *1*, камеры сгорания *2*, газовой турбины *3*, системы автоматического регулирования, управления и защиты, устройства автоматического пуска, аппаратуры контроля и сигнализации, системы маслоснабжения, пусковой паровой турбины или электрического разгонного двигателя *5*.

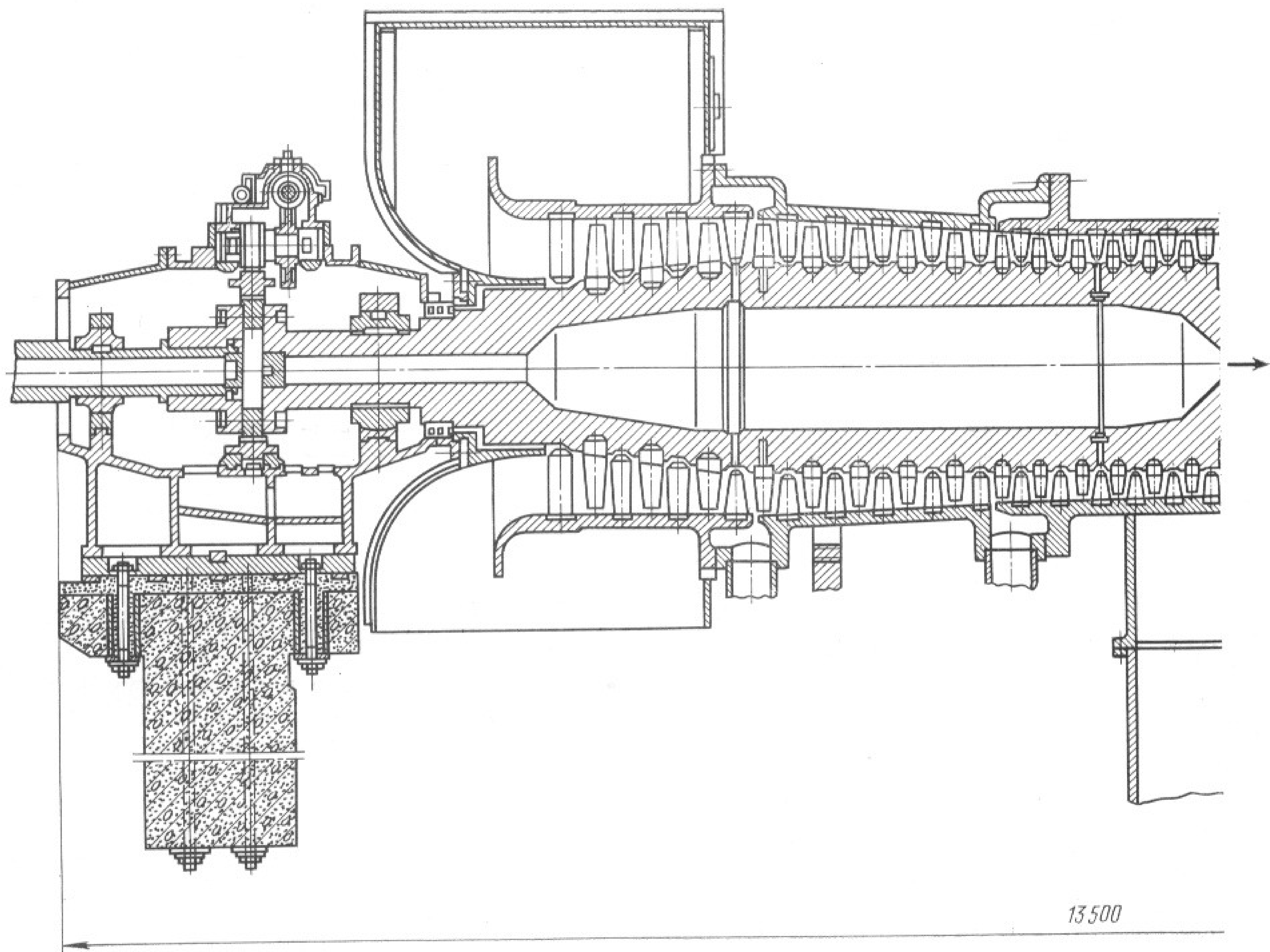
Осевой компрессор и газовая турбина выполнены в виде отдельных агрегатов. Камера сгорания установлена вертикально под входным патрубком турбины. Запуск установки осуществляется специальной паровой турбиной или электродвигателем типа АТМФ-3700-2. Пусковая паровая турбина или разгонный электродвигатель установлены за электрогенератором *4*. В блоке ПГУ-250 запуск установки осуществляется с помощью теристорного устройства с использованием генератора в качестве привода.

Компрессор и газовая турбина установлены на двух центральных и четырех боковых опорах. Крепление к боковым опорам позволяет корпусам компрессора и газовой турбины свободно расширяться в радиальном и осевом направлениях. На центральной опоре между компрессором и турбиной возможно расширение корпусов только в радиальном направлении.

Боковые и центральные опоры установлены на фундаментных плитах, которые крепятся анкерными шпильками к фундаменту.

Газовая турбина. Корпус турбины (входная и средняя части) — сварно-литой. Входная часть корпуса, выполненная из низколегированной стали, служит подводящим патрубком, внутри которого закреплена профилированная жаростойкая вставка. На внутреннюю поверхность патрубка уложена тепловая изоляция. В последних модификациях турбин ГТ-35-770 внутренняя тепловая изоляция входного корпуса турбины заменена воздушным охлаждением: часть циклового воздуха продувается между корпусом и специально установленной промежуточной вставкой.

Во входном корпусе турбины непосредственно за улиткой расположен направляющий аппарат первой ступени. Направляющие лопатки заведены в кольцевые пазы внешних и внутренних сегментных колец и крепятся в них профилированными проставками. Корпус в местах расположения сегментных колец охлаждается воздухом. Все детали направляющего аппарата выполнены из жаропрочных материалов.



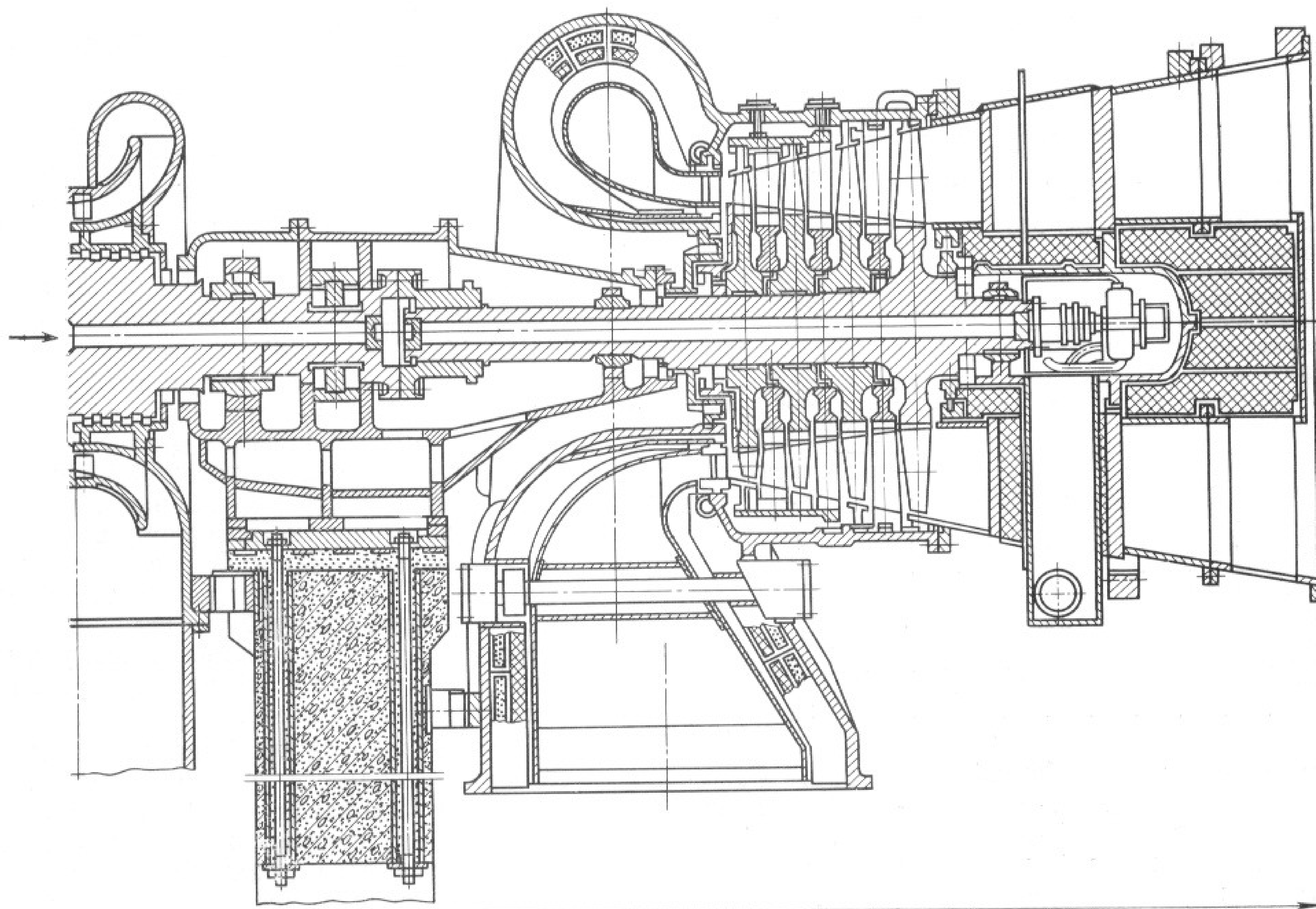


Рис. 1. Продольный разрез газотурбинной установки ГТ-35-770

Направляющие лопатки 2-й и 3-й ступеней набраны в отдельную обойму. Лопатки 2-й ступени подвешены в обойме на специальных жаростойких сегментах. Лопатки 3-й ступени крепятся непосредственно к обойме. Лопатки 4-й ступени набраны в корпусе турбины.

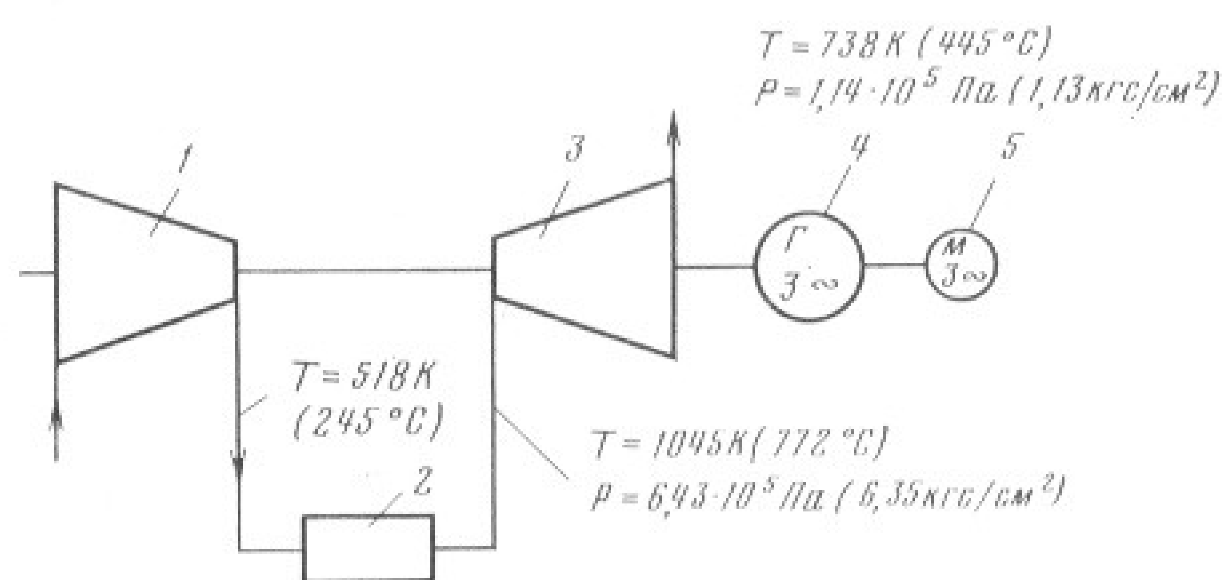


Рис. 2. Принципиальная тепловая схема газотурбинной установки ГТ-35-770:

1 — компрессор; *2* — камера сгорания; *3* — турбина; *4* — электрический генератор; *5* — пусковой двигатель

Средняя часть корпуса турбины и обойма с направляющими лопатками 2-й и 3-й ступеней охлаждаются продувкой воздуха в местах заделки в корпус и обойму сегментных подвесок и направляющих лопаток.

Для предотвращения деформации улитки входного корпуса внутренним давлением в нижней половине входного корпуса установлены три стяжные шпильки.

Корпус входной и средней частей, а также выхлопной осевой патрубок турбины выполнены с горизонтальным разъемом. Для придания жесткости выходному патрубку за ним по ходу газа установлен конический переходной корпус, выполненный без горизонтального разъема.

В выхлопном патрубке турбины размещен картер опорного подшипника ∅ 280 мм. В зазоре между картером и внутренней обечайкой выхлопного патрубка уложена тепловая изоляция. Картер охлаждается за счет слива масла из подшипника. В картере подшипника размещены импульсный насос системы регулирования, прибор замера относительного расширения ротора, механический регулятор безопасности.

Ротор турбины — четырехступенчатый, двухопорный, диаметр подшипников — 280 мм. Диск 4-й ступени откован заодно с валом ротора. Диски 1, 2 и 3-й ступеней насажены на вал и отцентрованы радиальными штифтами. На ступицу диска 1-й ступени насажен со стороны входа уплотнительный диск. Со стороны выхода на ступицы дисков 1, 2 и 3-й ступеней насажены диски промежуточные. Центрируются они радиальными штифтами. Уплотнительный и промежуточные диски служат для организации тракта воздушного охлаждения ротора.

Ротор турбины связан жестко с ротором компрессора при помощи насадной полумуфты.

Рабочие лопатки турбины выполнены с елочными замками из жаропрочных материалов.

Корпус турбины связан через сильфонный компенсатор и обойму переднего уплотнения с опорой «турбина — компрессор». В камеру переднего уплотнения подается воздух на охлаждение ротора турбины. Воздух отбирается за компрессором и охлаждается до температуры 160° С в специальном охладителе. Ротор охлаждается продувкой воздуха последовательно через монтажные зазоры хвостовых соединений рабочих лопаток.

К о м п р е с с о р. Корпус компрессора — сварно-литой из углеродистой стали, имеет горизонтальный разъем и два вертикальных разъема, соединяющих входной и выходной патрубки со средней частью. В средней части корпуса выполнены две камеры антипомпажных отборов воздуха, соединяющиеся с проточной частью кольцевыми щелями.

В корпусе компрессора в 16 кольцевых пазах установлены диафрагмы входного направляющего аппарата, 14 диафрагм промежуточных направляющих аппаратов и наборный спрямляющий аппарат. Диафрагмы — сварного типа, состоящие из наружного и внутреннего бандажей с вваренными в них направляющими лопатками. Диафрагмы и лопатки выполнены из хромистой жаропрочной стали.

Воздухоприемный патрубок выполнен сварным из листовой углеродистой стали. Нижняя половина патрубка жестко соединена болтами с опорой «компрессор — генератор» и устанавливается лапами на фундаментной плите.

Ротор компрессора — двухопорный, барабанного типа, сваренный из трех частей. Материал — низколегированная сталь перлитного класса. Диаметр опорных подшипников — 420 мм. На барабане ротора выполнено 14 кольцевых зубчатых пазов для крепления рабочих лопаток и 14 проточек под диафрагменные уплотнения. Рабочие лопатки с Т-образными хвостами удерживаются в роторе зубчатыми промежуточными телами. Снизу лопатки расклиниваются лентами.

К а м е р а с г о р а н и я. В восьми горелках, расположенных в нижней части вертикальной камеры сгорания, предусмотрено сжигание природного газа и жидкого топлива.

Пламенная труба — двухстенная, перфорированная, ∅ 1800 мм, крепится подвижно к средней части внешнего силового корпуса при помощи пальцев и вилок.

К нижнему кольцу пламенной трубы присоединено перфорированное двухстенное дно, в котором при помощи плавающих колец центрируются лопаточные регистры горелочных устройств.

За пламенной трубой установлен смеситель, включающий семь длинных и семь коротких патрубков.

Воздух от компрессора подводится к камере сгорания по двум симметричным трубопроводам D_y900 мм. Часть воздуха (60%) сразу направляется вверх и через патрубки смесителя вдувается в зону смешения. На охлаждение пламенной трубы и дна через перфорацию идет около 10% воздуха. Остальной воздух направляется на лопаточные регистры горелочных устройств.

Газотурбинная установка ГТЭ-45

КОД ОКП 31 1121 1301

Газотурбинная установка ГТЭ-45 (рис. 3), изготовляемая ПО «Турбоатом», предназначена для выработки электроэнергии в составе парогазовой установки с высоконапорным парогенератором и в составе парогазовой установки со сбросом отработавших газов в котел или с подогревом отработавшими газами питательной воды; может применяться в качестве автономной ГТУ с утилизацией или без утилизации тепла уходящих газов.

Газотурбинная установка ГТЭ-45 предназначена для работы в базовом, полупиковом и пиковом режимах. Ниже приведены номинальные параметры установки, которые должны быть обеспечены в определенных условиях (температура и давление наружного воздуха соответственно +15° С и $1{,}033 \cdot 10^5$ Па, топливо — природный газ).

Техническая характеристика газотурбинной установки ГТЭ-45 в составе блока ПГУ-250

Мощность, МВт	62,0
Температура, °С:	
газа перед турбиной	850
выхлопных газов	470
Расход газа на выхлопе, кг/с	281
Общая степень повышения давления	8,2
Удельная масса турбогруппы, кг/кВт	2,81

Техническая характеристика автономной ГТЭ-45 по ИСО

Мощность, МВт	54,3
Максимальная мощность (при температуре наружного воздуха —30° С), МВт	75
Температура, °С:	
газа перед турбиной	900
выхлопных газов	480
Расход газа на выхлопе, кг/с	274
КПД, %	28,0
Общая степень повышения давления	7,8
Вид топлива	Жидкое, газотурбинное, природный газ
Удельная масса турбогруппы, кг/кВт	3,27
Число ступеней:	
турбины	4
компрессора	16
Длина турбогруппы, м	16,2
Ресурс:	
в базовом режиме, ч	100 000
в пиковом режиме, число пусков	3000
Время пуска до полного набора нагрузки, мин	20

Конструкция газотурбинной установки. Газотурбинная установка выполнена одновальной по простейшей схеме (рис. 4). ГТУ включает в себя осевой компрессор, турбину, систему автоматического регулирования, управления и защиты, устройства теристорного пуска с использованием генератора в качестве привода, аппаратуру контроля и сигнализации, систему топливоподачи, систему маслоснабжения, пусковую паровую турбину или разгонный электродвигатель. ГТЭ-45, предназначенная для работы в составе парогазового блока ПГУ-250, не имеет своей камеры сгорания. В ПГУ-250 камера сгорания является составной частью высоконапорного парогенератора, в которой размещена часть его испарительных поверхностей.

Турбогруппа. Турбина и компрессор имеют общий корпус. Роторы компрессора и турбины, соединенные между собой жесткой муфтой, имеют три опоры. В собранном виде турбина и компрессор образуют единый транспортабельный блок — турбокомпрессорную группу. Турбокомпрессорный блок транспортируется железнодорожным транспортом на платформе грузоподъемностью 200 т. При этом имеется боковая негабаритность нулевой степени и верхняя негабаритность третьей степени.

Выполнение турбогруппы в виде единого транспортабельного блока, полностью собранного и испытанного на заводе, позволяет свести его монтаж на станции к установке блока на фундаменте и присоединению его к станционным системам по маслу, топливу, воздуху, газу, электроснабжению, а также присоединению патрубков компрессора и турбины.

Корпус турбокомпрессора состоит из элементов корпусов компрессора и турбины из промежуточных цилиндрических обечаек, соединенных между собой вертикальными фланцами.

Корпус связывает все элементы турбокомпрессора в единый транспортабельный блок и обеспечивает необходимую жесткость как в работе, так и при транспортировке.

У корпуса турбокомпрессора имеются три боковые опоры. Внешние опоры корпуса турбокомпрессора находятся в местах расположения опор подшипников ротора турбокомпрессора, благодаря чему обеспечивается жесткость всей системы опор подшипников.

Все боковые опоры турбокомпрессора выполнены в виде единой рамы. Рама служит для установки на ней и центровки турбокомпрессора, но не для обеспечения его жесткости, вследствие чего она выполнена сравнительно легкой. Рама является также приспособлением для транспортировки турбоблока.

Камера сгорания автономной ГТУ — кольцевая прямоточного типа, оснащена 18 комбинированными двухтопливными горелками (газ, дизельное топливо). Форсунки — двухступенчатые, механического распыла. Пламенная труба перфорированной, двухстенной конструкции.

Одним из наиболее ответственных элементов камеры сгорания является смеситель, предназначенный для выравнивания поля скоростей и температур при выходе из камеры сгорания и колена.

Лобовым конусом поток газа направляется к периферии смесителя, а затем через щели между коническими направляющими поступает к его оси.

Предусмотрено конвективное охлаждение воздухом элементов смесителя, а также выпуск воздуха на лобовой конус.

Компрессор. Проточная часть осевого компрессора ГТЭ-45 создана на базе компрессора ГТ-35. От компрессора ГТ-35 используются ступени 4-14 с масштабом моделирования 1,045, с установкой перед ними пяти новых, предвключенных

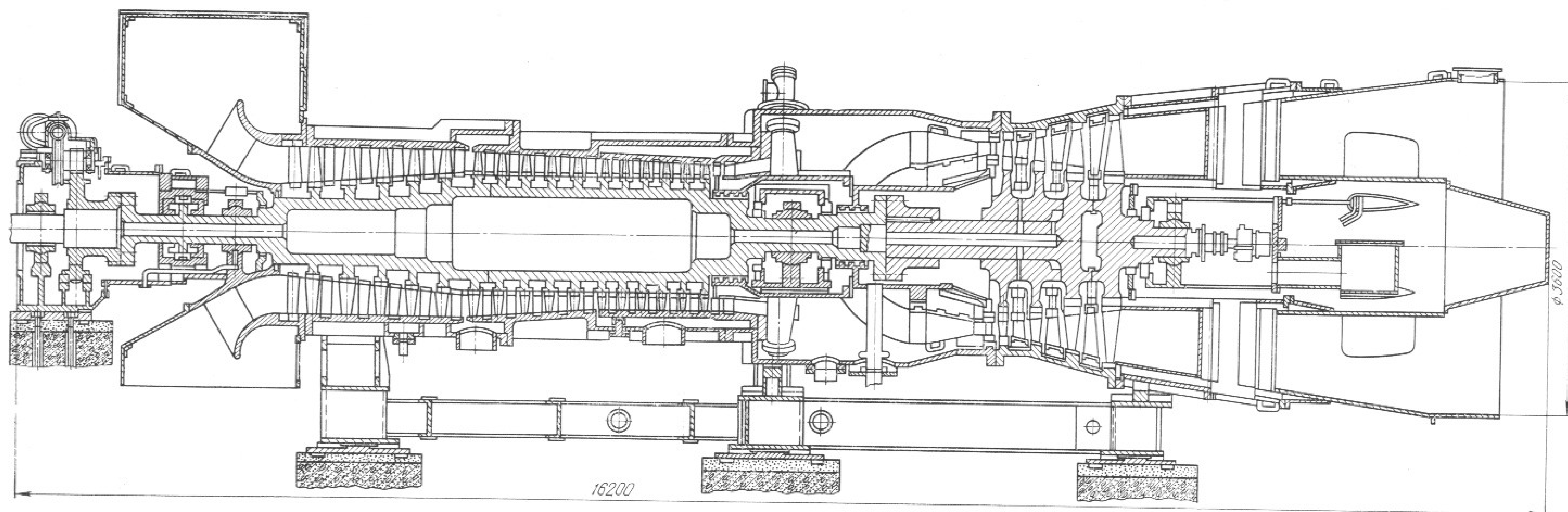


Рис. 3. Продольный разрез газотурбинной установки ГТЭ-45

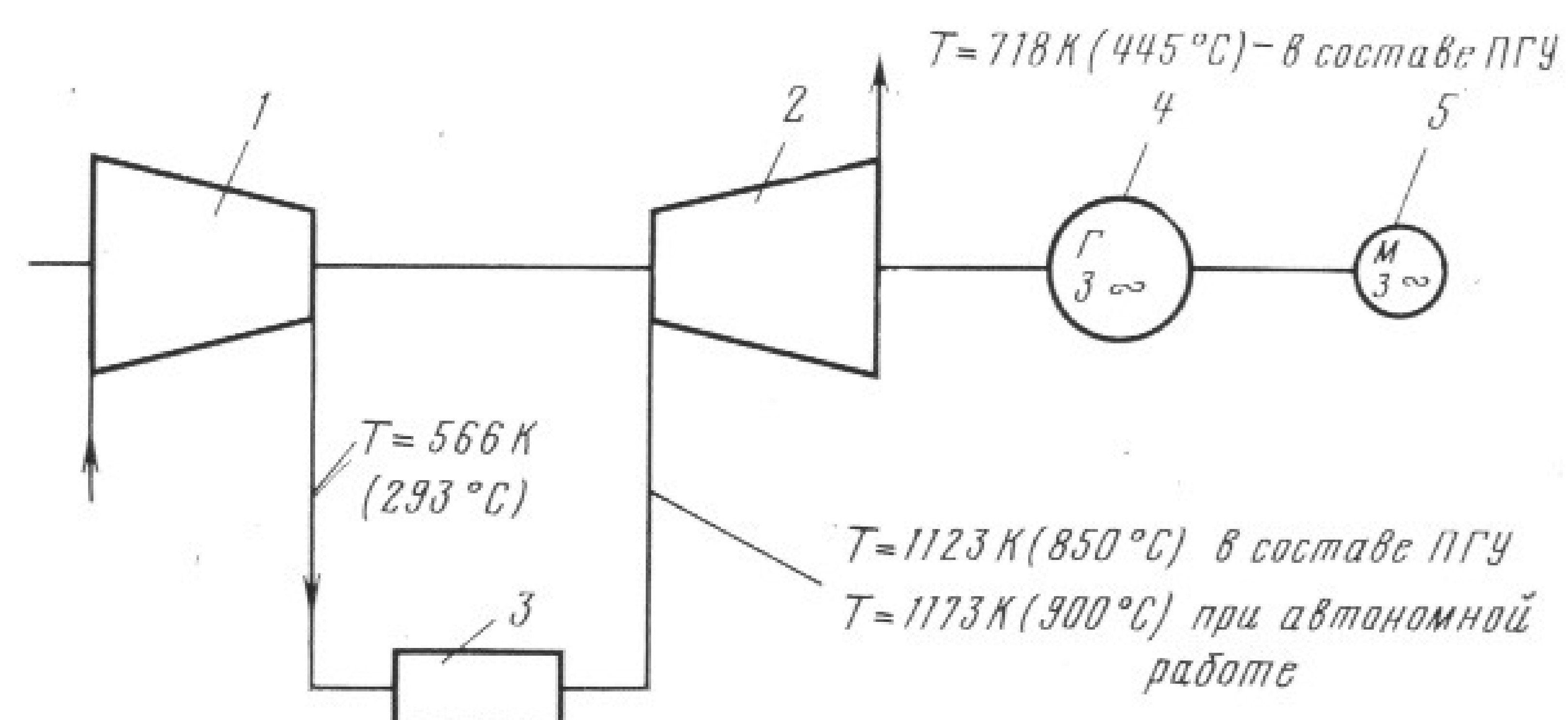


Рис. 4. Принципиальная тепловая схема газотурбинной установки ГТЭ-45:
1 — компрессор; *2* — турбина; *3* — камера сгорания; *4* — электрический генератор; *5* — пусковой двигатель

ступеней, обеспечивающих работу основного отсека при G=270 кг/с и n=3000 об/мин, π=8,3 и η=0,86.

Компрессор — 16-ступенчатый. Входной направляющий аппарат выполнен с поворотными лопатками. Промежуточные направляющие аппараты выполнены сварными.

Имеются два антипомпажных сброса воздуха за 5-й и 10-й ступенями и один антипомпажный сброс за компрессором.

Ротор компрессора дискобарабанного типа, сварен из трех частей. Хвостовые соединения лопаток зубчикового типа выполнены в осевом направлении по дуге окружности.

Корпус компрессора состоит из трех частей. Входная часть корпуса шестью ребрами соединена с передней стенкой входного конфузора компрессора. На передней стенке конфузора установлена опора переднего подшипника компрессора. Средняя часть переднего подшипника выполнена в виде двух кольцевых обечаек с вертикальными фланцами и обоймы. Выходная часть корпуса, соединяющаяся фланцами с внутренней кольцевой частью компрессора (обоймой) торцевой стенкой корпуса турбокомпрессора, имеет коробчатую форму, что придает ему необходимую жесткость для восприятия усилий от массы ротора турбокомпрессора, имеет коробчатую форму, что придает ему необходимую жесткость для восприятия усилий от массы ротора турбокомпрессора. Входной патрубок компрессора выполнен сварным из тонколистового углеродистого проката.

Турбина имеет четыре ступени. Входной патрубок турбины выполнен сварным из тонколистового жаропрочного сплава. Патрубок имеет два симметричных боковых подвода газа, поступающего от камер сгорания парогенератора.

Сопловые лопатки 1, 2 и 3-й ступеней — литые, полые; лопатки четвертой ступени — штампованные.

При проектировании турбины хорды рабочих лопаток выбирались с учетом перегрузок, возникающих при работе ГТУ в зимнее время (до температур наружного воздуха — 55° С), а также с целью возможности создания в перспективе установки большей мощности на базе ГТЭ-45 без существенной переделки лопаточного аппарата.

Сопловые лопатки 1-й ступени (76 шт) — охлаждаемые, с выпуском воздуха через выходную кромку. Система охлаждения обеспечивает снижение температуры металла до 800° С, повышая ресурс лопаток до полного срока службы ГТУ.

Сопловые лопатки — дефлекторного типа с конвективным охлаждением, с турбулизирующими вставками в щелях выходной кромки на выпуклой и вогнутой частях профиля (в районе конца дефлектора) и переменной величиной зазора между дефлектором и лопаткой.

Корпус турбины, являющийся составной частью общего корпуса турбокомпрессора, выполнен с воздушным охлаждением и защищен от потока газов сегментными вставками и направляющими лопатками.

Выхлоп из турбины — осевой, с развитым диффузором. На выходную часть корпуса турбины подвешен корпус подшипника. Стенки выходного корпуса защищены от газа внутренней изоляцией и тонкостенной вставкой-диффузором. В зазор между изоляцией и вставкой подведен охлаждающий низконапорный воздух.

Ротор турбины — комбинированного типа: откованные заодно с хвостовиками диск 3-й и 4-й ступеней сварены между собой; диски 1-й и 2-й ступеней — насадные. На ступицы дисков 1-й и 2-й ступеней насажены покрывные диски. Все насадные диски (основные и покрывные) центрируются на роторе посредством радиальных штифтов. С помощью покрывных дисков и диафрагм 2, 3 и 4-й ступеней организуется система воздушного охлаждения ротора и межступенчатые лабиринтные уплотнения.

Рабочие лопатки соединяются с дисками замками елочного типа. Ножки лопаток выполнены точеными по дуге окружности. Лопатки 1, 2 и 3-й ступеней имеют между пером и замком удлиненные ножки с уплотнительными усиками.

Газовоздухопроводы. Отвод воздуха от компрессора к парогенератору и подвод газа от парогенератора к турбине выполнены по концентричным трубопроводам по схеме «труба в трубе»: диаметр наружного трубопровода 1500 мм, внутреннего — 1160 м. В зазоре между наружным и внутренним трубопроводами протекает воздух, во внутреннем трубопроводе — газ. Тепловые перемещения трубопроводов компенсируются за счет установки компенсаторов сильфонного типа с армирующими кольцами.

Масляная система. Для смазки подшипников, уплотнения вала генератора и в качестве рабочего тела в системе регулирования используется масло марки T_{22} по ГОСТ 32—74.

Расход масла на смазку подшипников турбоустановки с генератором составляет 180 м³/ч, на регулирование — 140 м³/ч.

Пуск турбины. Для запуска газотурбинной установки используется пусковая паровая турбина, работающая от постоянного источника пара.

Расцепное устройство при запуске соединяет вал пусковой турбины с ротором генератора, а после выхода установки на режим «самохода» разъединяет их.

Включение и выключение расцепного устройства происходит за счет осевого перемещения подвижной муфты.

Газотурбинная установка ГТ-100-3М

КОД ОКП 31 1121 1403

«Газотурбинная установка ГТ-100-3М (рис. 5), изготовляемая ПО «Ленинградский Металлический завод», предназначена для покрытия пиковых нагрузок в крупных энергосистемах.

Установка выполнена по термодинамическому циклу с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии и промежуточным подогревом газа при расширении. Принципиальная тепловая схема ГТУ приведена на рис. 6. Воздух через фильтры засасывается в компрессор низкого давления (КНД), сжимается в нем до давления около 4,5 кг/см² и направляется в воздухоохладитель (ВО), где его температура снижается со 170—180° С до 25—35° С. Для охлаждения воздуха используется циркуляционная вода с расходом 3000 м³/ч при температуре 15° С.

Из охладителя воздух поступает в компрессор высокого давления (КВД), сжимается в нем до 27—29 кг/см² и с температурой около 250° С направляется в камеру сгорания высокого давления (КСВД). Расчетная температура газов, образующихся после сгорания топлива, — 750° С. Далее газы поступают в турбину высокого давления (ТВД), где расширяются 26—28 до 8—8,5 кг/см², а их температура снижается до 520—530° С. В среде расширившихся в ТВД газов, содержащих еще большее количество кислорода, сжигается дополнительное топливо в КСНД, за счет чего температура газов перед турбиной низкого давления (ТНД) вновь повышается до 750° С. После расширения в ТНД газы при температуре 398° С выбрасываются в атмосферу.

ГТ-100-3М выполнена двухвальной. КНД и ТНД расположены на одном валу с электрическим генератором и на всех рабочих режимах имеют постоянную частоту вращения 3000 об/мин. КВД и ТВД находятся на свободном, не связанном с нагрузкой валу, частота вращения которого может при работе изменяться. Номинальная частота вращения — 4100 об/мин.

Ниже приведены основные технико-экономические показатели ГТ-100-3М, а в табл. 1 основные расчетные характеристики и геометрические размеры.

Техническая характеристика ГТ-100-3М

Мощность номинальная, МВт	105
Температура газа, °С:	
перед ТВД и ТНД	750
за ТНД	398
Частота вращения ротора, об/мин:	
ТНД	3000
ТВД	4100
Расход газа на выхлопе, кг/с	458
КПД, %	28,5
Степень повышения давления	28,8
Удельная масса турбогруппы, кг/кВт	3,5

Конструкция газотурбинной установки. Все турбомашины установки расположены на одной оси (см. рис. 5). Корпуса КВД, ТВД и ТНД объединены в единый блок. Подшипник, на который опираются роторы ТВД и ТНД, расположен внутри корпуса в пространстве, омываемом горячими газами под давлением. Ротор КВД — ТВД — двухопорный. Пламенные трубы КСВД и КСНД расположены вокруг вала ГТУ.

Такая конструкция позволила выполнить корпус ГТУ в высокотемпературной зоне симметричным, рационально организовать тепловые расширения, избежать применения горячих трубопроводов большого диаметра, обеспечить прямоточность движения воздуха и газа.

Корпус КНД — сварно-литой, опирается на четыре лапы и фиксируется со стороны всасывающего патрубка. В середине корпуса имеется вертикальный технологический разъем. Направляющие аппараты КНД выполнены сварными и установлены в обойме, отлитой из простой углеродистой стали. Масса корпуса КНД составляет 72,5, обоймы — 24,6, направляющих лопаток — 3,06 т.

Ротор КНД — гибкий, его расчетная критическая частота вращения — 1800 об/мин. Ротор КНД состоит из вала с насадными дисками и набранными с креплениями типа «ласточкин хвост» рабочими лопатками, которые заводятся в осевом направлении. Материал вала и дисков — хромоникелевая сталь 34ХН3М, рабочих лопаток — нержавеющая сталь 2Х13, и 1Х13. Ротор КНД связан с ротором ТНД жесткой опорой, а с ротором электрогенератора — полугибкими муфтами. Опорами ротора служат два подшипника. Один из них (со стороны всасывания) расположен в корпусе компрессора, другой — в общем чугунном корпусе с подшипником генератора, где находятся также механические автоматы безопасности и валоповоротное устройство. Масса ротора КНД составляет 25,7, рабочих лопаток — 4,72 т. Трубопровод, по которому воздух отводится от КНД к воздухоохладителям, в месте разделения потока под компрессором, связан тремя трубопроводами, на каждом из которых установлен двухседельный антипомпажный клапан, с входным воздухопроводом КНД.

Общий корпус КВД, ТВД и ТНД выполнен с горизонтальным и четырьмя вертикальными разъемами. Три из них технологические, а один, расположенный посередине, в районе последней ступени ТВД, разбалчивается при ремонтах и обеспечивает раздельный осмотр облопачивания турбин и камер сгорания высокого и низкого давлений. Форма приваренных фланцев горизонтального разъема приближена к цилиндрической, число шпилек увеличено за счет расположения их вверху и внизу и установки колпачковых гаек.

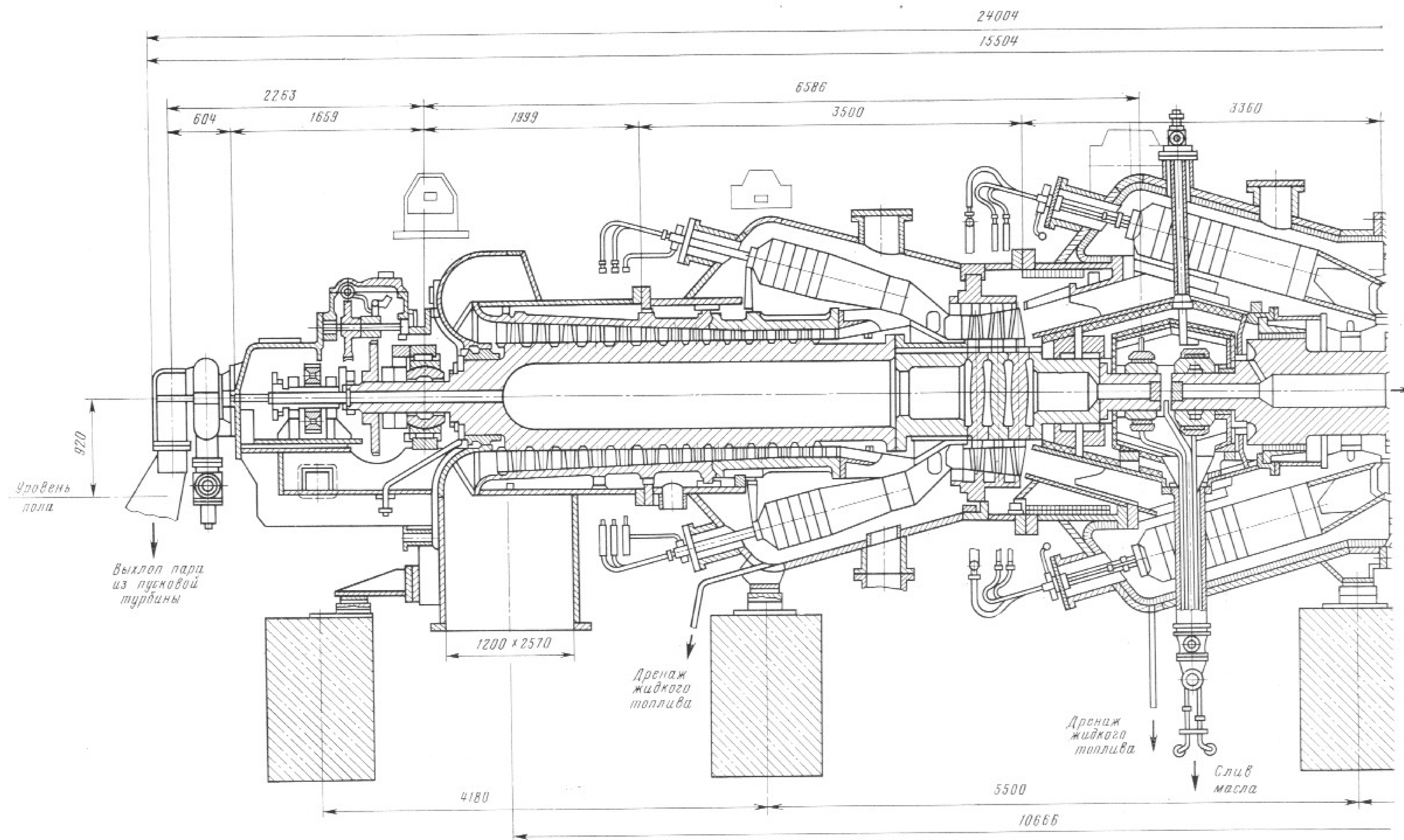
Сварно-литой корпус КВД и сварная выхлопная часть ТНД выполнены из углеродистой стали, сварно-литые цилиндры КСВД и КСНД и сварной цилиндр диафрагм ТНД — из хромомолибденовой стали 12МХ.

Общий корпус опирается на фундаментные стойки восемью лапами, симметрично расположенными в четырех поясах. Фиксируется корпус в выхлопной части ТНД, на опорных лапах которой имеются две поперечные шпонки.

Положение оси корпуса при расширении достигающем в переднем блоке КВД 55 мм, фиксируется с помощью четырех расположенных снизу радиальных шпонок.

Длина общего корпуса — 12,5 м, в том числе: КВД — 2 м, КСВД — 3,5 м, КСНД — 3,35 м, цилиндра диафрагм ТНД — 1,45 м, выхлопного патрубка 2,2 м. Масса корпуса — 123 т.

Направляющие аппараты КВД и ТВД установлены в обоймах, ТНД — непосредственно в цилиндре диафрагм. Обойма КВД состоит из двух частей, отлитых из углеродистой стали. Направляющий аппарат КВД выполнен сварным, с наружным и внутренним ободами. Направляющий аппарат ТВД и ТНД — наборный. Лопатки набираются


24004
15504
2263
6586
604
1659
1999
3500
3360
920
Уровень
пола
Выхлоп пара
из пусковой
турбины
1200 × 2570
Дренаж
жидкого
топлива
Дренаж
жидкого
топлива
Слив
масла
4180
5500
10666

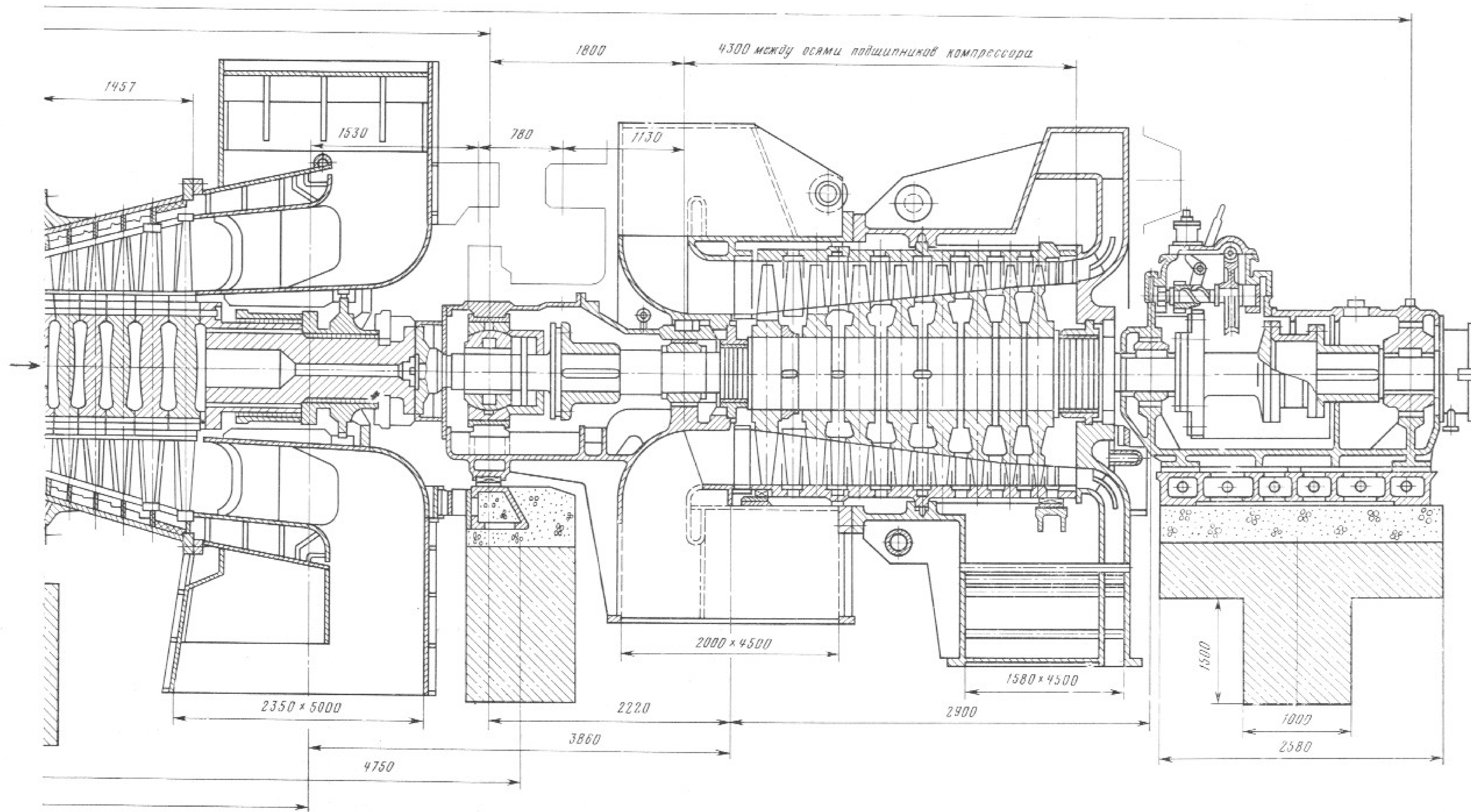


Рис. 5. Продольный разрез установки ГТ-100-3М

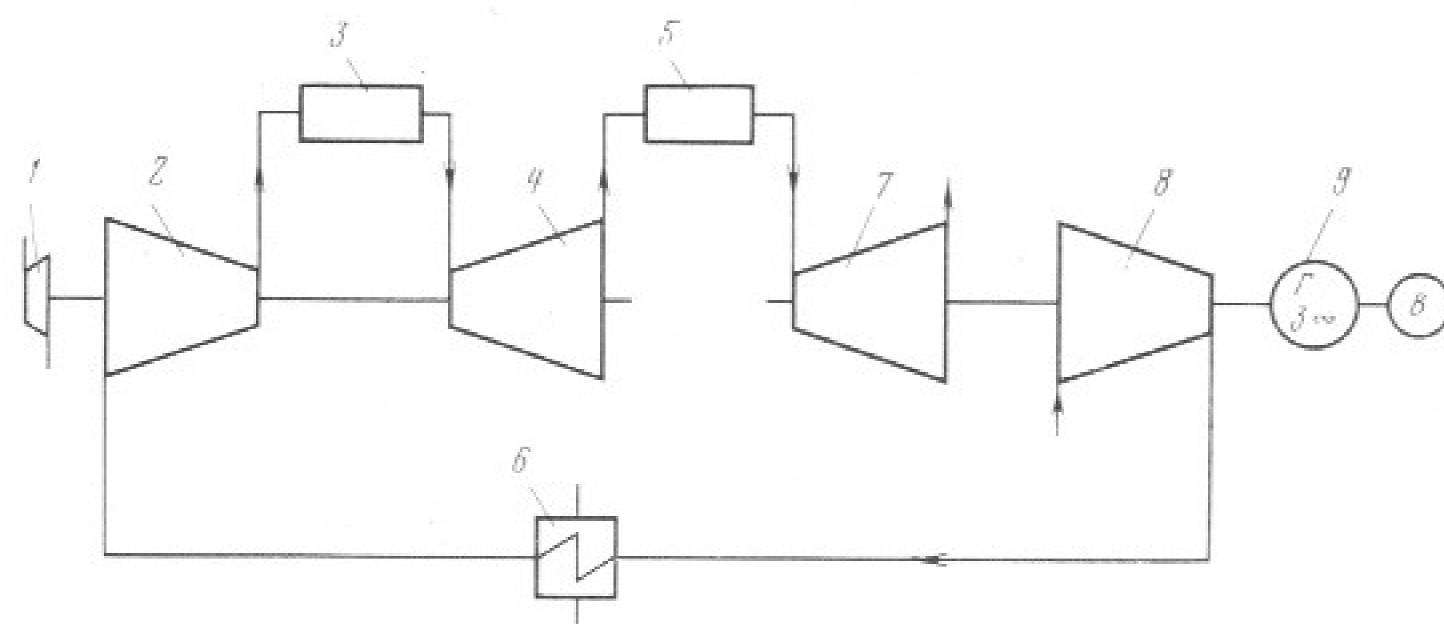


Рис. 6. Принципиальная тепловая схема газотурбинной установки ГТ-100-3М:

1 — пусковая турбина; *2* — компрессор высокого давления (КВД); *3* — камера сгорания высокого давления (КСВД); *4* — турбина высокого давления (ТВД); *5* — камера сгорания низкого давления (КСНД); *6* — воздухоохладитель; *7* — турбина низкого давления (ТНД); *8* — компрессор низкого давления (КНД); *9* — электрический генератор

Таблица 1

Параметры	КНД		КВД		ТВД		ТНД	
	на входе (первая ступень)	на выходе (последняя ступень)	на входе (первая ступень)	на выходе (последняя ступень)	на входе (первая ступень)	на выходе (последняя ступень)	на входе (первая ступень)	на выходе (последняя ступень)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число ступеней	8		13		3		5	
Степень повышения давления (расширения)	4,3		6,3		3,21		7,6	
Изоэнтропический теплоперепад, ккал/кг	35,1		51,5		70,5		111	
Внутренний КПД проточной части, %	88		86		91,6 (89,5)		92,2 (88,5)	
Давление, МПа (кг/см²)	0,1 (1,0)	0,43 (4,3)	0,41 (4,12)	2,6 (26)	2,5 (25,3)	0,79 (7,87)	0,77 (7,68)	0,1 (1,01)
Осевая скорость, м/с	170	135	130	90	69	123	91	194
Расход воздуха (газа), кг/с	435		435		435		438	
Степень повышения давления в ступени (расширения)	1,18	1,185	1,28	1,11	1,44	1,51	1,38	1,7
Изоэнтропический теплоперепад в ступени, ккал/кг	3,28	5,09	5,39	3,42	24,5	24,8	21,3	27,3
Степень реактивности	0,5		0,5		0,334	0,395	0,39	0,5
Максимальная скорость, м/с	250	240	150	160	362	348	327	366
Число М	0,75	0,57	0,47	0,35	0,58	0,61	0,52	0,64
Высота рабочей лопатки, мм	520	190	190	85	100	260	350	650
Диаметр у корня лопатки, мм	1030	1172	996		1000		1350	

в сегмент по 2—5 шт. и формируются с помощью внутреннего приклепанного на шипах бандажа и наружного несущего обода с радиальными прорезями, обеспечивающими термоэластичность.

Обойма ТВД, цилиндр диафрагм ТНД и сегменты направляющих лопаток вблизи места их крепления охлаждаются воздухом. В обойму ТВД воздух поступает прямо из КСВД и движется по специально выполненным каналам последовательно от ступени к ступени. К цилиндру диафрагм воздух подводится по трем параллельным наружным трубопроводам с дозирующими шайбами в полости над направляющими аппаратами 1-й — 3-й ступеней и вытекает из них после охлаждения стоек и ножек сегментов в проточную часть.

Ротор турбомашин высокого давления КВД и ТВД — сболченный. Компрессорная часть состоит из барабана с наружным диаметром 1 м, и колеса редуктора, через который осуществляется связь с пусковой турбиной. Рабочие лопатки компрессора крепятся в кольцевых пазах, проточенных в барабане с помощью Т-образных хвостовиков.

Турбинная часть ротора состоит из дистанционной проставки, трех дисков без центральных отверстий диаметром около 1 м, концевика с шейкой подшипника и уплотнениями. Сборка турбинной части ротора осуществляется с помощью 16 стяжных болтов диаметром 43 мм, барабан соединяется с проставкой призонными болтами.

Рабочие лопатки турбины заводятся в пазы дисков в осевом направлении, крепятся трехопорным хвостовиком елочного типа и фиксируются специальными стопорными планками.

Кольцевые промежутки между лопатками разных ступеней и входной участок ротора под направляющим аппаратом 1-й ступени защищены от воздействия потока газов вставками, которые заводятся точно так же, как хвостовики лопаток в пазы дисков ротора. Осевые и тангенциальные зазоры между лопатками и вставками уплотнены специальными пластинками и фольгой.

Ротор ТВД охлаждается воздухом, поступающим из КСВД, и входит с торца ротора в щелевые зазоры между хвостовиками защитных вставок и гребней диска. Часть охлаждающего воздуха протекает последовательно через щелевые зазоры в хвостовых соединениях рабочих лопаток и вставок всех ступеней, охлаждает их и выходит в проточную часть (выходной диффузор) через задний торец ротора. Другая часть воздуха подмешивается к потоку газов, перетекая через уплотнения между газосборником или ротором с одной и бандажом направляющего аппарата с другой стороны, а также через зазоры между рабочими лопатками и вставками всех ступеней.

Масса ротора КВД—ТВД составляет 21,5; лопаток КВД — 0,78 и ТВД — 0,76 т; расстояние между опорами — 6,6 м. Ротор — гибкий, его расчетная критическая частота вращения — 2400 об/мин.

Ротор ТНД состоит из пяти дисков и двух концевых частей, скрепленных между собой 12 стяжными болтами диаметром 68 мм. Конструкция и материалы основных деталей этого ротора такие же как и ТВД. Наружный диаметр ротора — 1300 мм, расстояние между опорами — 6 м, масса — 29 т. На передней концевой части ротора имеется думмис с уплотнением. Системы уплотнений и сверления в задней концевой части ротора обеспечивают подачу воздуха для охлаждения

дисков в высокотемпературной зоне проточной части.

Охлаждающий воздух отбирается из КСВД и подается в заднее уплотнение ТНД по отдельному трубопроводу с дозирующей шайбой. Через осевые отверстия в концевой части и дисках он поступает в полость между дисками 1-й и 2-й ступеней в районе хвостовиков рабочих лопаток. Одна часть этого воздуха охлаждает хвостовое соединение первой ступени, двигаясь навстречу потоку газов, и выходит в зазор между направляющими и рабочими лопатками, другая последовательно проходит через щели в хвостовых соединениях рабочих лопаток и вставок 2-й — 5-й ступеней и сбрасывается в выходной диффузор. Третья часть воздуха через ротор ТНД проходит в камеру думмиса и через его уплотнение отводится из корпуса внутреннего подшипника в атмосферу.

Число рабочих лопаток и вставок ТНД в каждой ступени одинаковое и равно 64, их общая масса — 4,24 т. Для демпфирования колебаний лопаток и уменьшения возникающих в них динамических напряжений на 2-й — 5-й ступенях предусмотрены по два ряда демпферных связей. Нижний ряд, представляющий собой свободную связь, замкнутую на круг, состоит из сегментов проволоки полукруглого сечения, сложенных попарно плоскостями внутрь. Наружный ряд, расположенный в сечении, где применение связей обычного типа невозможно из-за больших шагов между лопатками, образован цилиндрическими стержнями, которые вместе с концами лопаток составляют Z-образную систему.

Наиболее ответственным внутренним элементом статора турбогрупп является блок внутренних подшипников, который воспринимает и передает через наружный корпус на фундамент весовые и динамические нагрузки от роторов ТВД и ТНД. Блок внутренних подшипников состоит из силового корпуса, омываемого горячими газами после ТВД, и масляного корпуса, расположенного внутри свободно подвешенного на лапах в плоскостях разъема ГТУ и отцентрированного относительно силового корпуса двумя радиальными шпонками в вертикальной плоскости.

Элементами силового корпуса являются 10 радиальных ребер, пересекающих газовый тракт в выходной части диффузора за ТВД, и обечайка с фланцами, образующая наружную поверхность диффузора. Фланец этой обечайки фиксирует осевое положение силового корпуса блока внутренних подшипников относительно цилиндра КСНД и является опорой пламенных труб КСНД. Нагрузка от блока передается через ту же обечайку на опоры, расположенные в плоскости горизонтального разъема.

Два опорных подшипника, расположенных во внутреннем масляном корпусе, выполнены с индивидуальными подводами масла и общим сливом через масляный эжектор. Кроме того, предусмотрен отсос масляных паров изнутри корпуса. Вкладыши подшипников — обычной конструкции, а на шейки валов для улучшения скольжения надеты втулки, изготовленные из перлитной стали.

Подшипники работают при давлении, близком к атмосферному. Протечки горячих газов предотвращаются системой уплотнений, в которую подводится запирающий воздух высокого и низкого давлений с разгрузкой в атмосферу.

Внутренняя сторона силового и наружная сторона масляного корпусов покрыты тепловой изоляцией.

Спереди к корпусу КВД примыкает узел, в котором расположены опорно-упорный и подшипник ротора высокого давления, валоповоротное устройство, редуктор и расцепная муфта пусковой турбины, сама турбина, датчики системы контроля и регулирования частоты вращения ТВД.

Камера сгорания. Пламенные трубы камер сгорания расположены наклонно к оси агрегата внутри корпуса. В каждой ступени сгорания имеется 12 параллельно работающих пламенных труб диаметром 0,44 м в КСВД и 0,54 м в КСНД. Суммарная масса пламенных труб КСВД — 0,84; КСНД — 1,32 т. Каждая труба состоит из горловины, в которую вставляется горелочное устройство; нескольких рядов конических обечаек, соединенных между собой через гофры, образующие щели для прохода охлаждающего воздуха; выходной части, в которой сделаны отверстия и насадки смесителей.

Каждая пламенная труба крепится к внутренним деталям корпуса шарнирным соединением, расположенным у горловины, и вставляется в патрубок газосборника через демпфирующее цанговое устройство. Эти устройства допускают линейные перемещения пламенных труб в газосборниках, а шарниры — их повороты, необходимые для тепловых расширений. В районе первой обечайки пламенные трубы связаны между собой пламеперекидными патрубками. Горелочные устройства устанавливаются снаружи через имеющиеся в цилиндрах патрубки и крепятся к их фланцам.

Камеры сгорания могут работать на природном газе и жидком топливе, а горелочные устройства приспособлены для раздельного или комбинированного сжигания этих топлив. Для зажигания топлива каждая пламенная труба оснащена своим запальным устройством, работающим на природном газе или пропане, с электроискровым зажиганием. Для контроля наличия факела против каждой пламенной трубы предусмотрена установка фотодатчиков.

Воздухоохладитель ГТУ состоит из двух корпусов, включенных параллельно по воздушному и водяному трактам. Каждый корпус имеет две последовательно расположенные по ходу воздуха секции. Все секции работают только на циркуляционной воде. Расчетный расход воды на всю установку составляет 3000 м³/ч.

Секции воздухоохладителя установлены в корпусе в вертикальном положении и могут выниматься для осмотра и ремонта. Поверхности охлаждения образованы биметаллическими трубками с наружным шайбовым оребрением.

Общая поверхность одной секции по ребрам составляет 6,5 тыс. м², по наружному диаметру — 535 м².

Система регулирования. Система регулирования ГТ-100-3М представлена на рис. 7, где:

1 — золотник защиты; *2* — датчик частоты вращения вала ТНД; *3* — золотник регулятора скорости ТВД; *4* — электромеханический преобразователь ТВД; *5* — золотник регулятора безопасности

4—1825

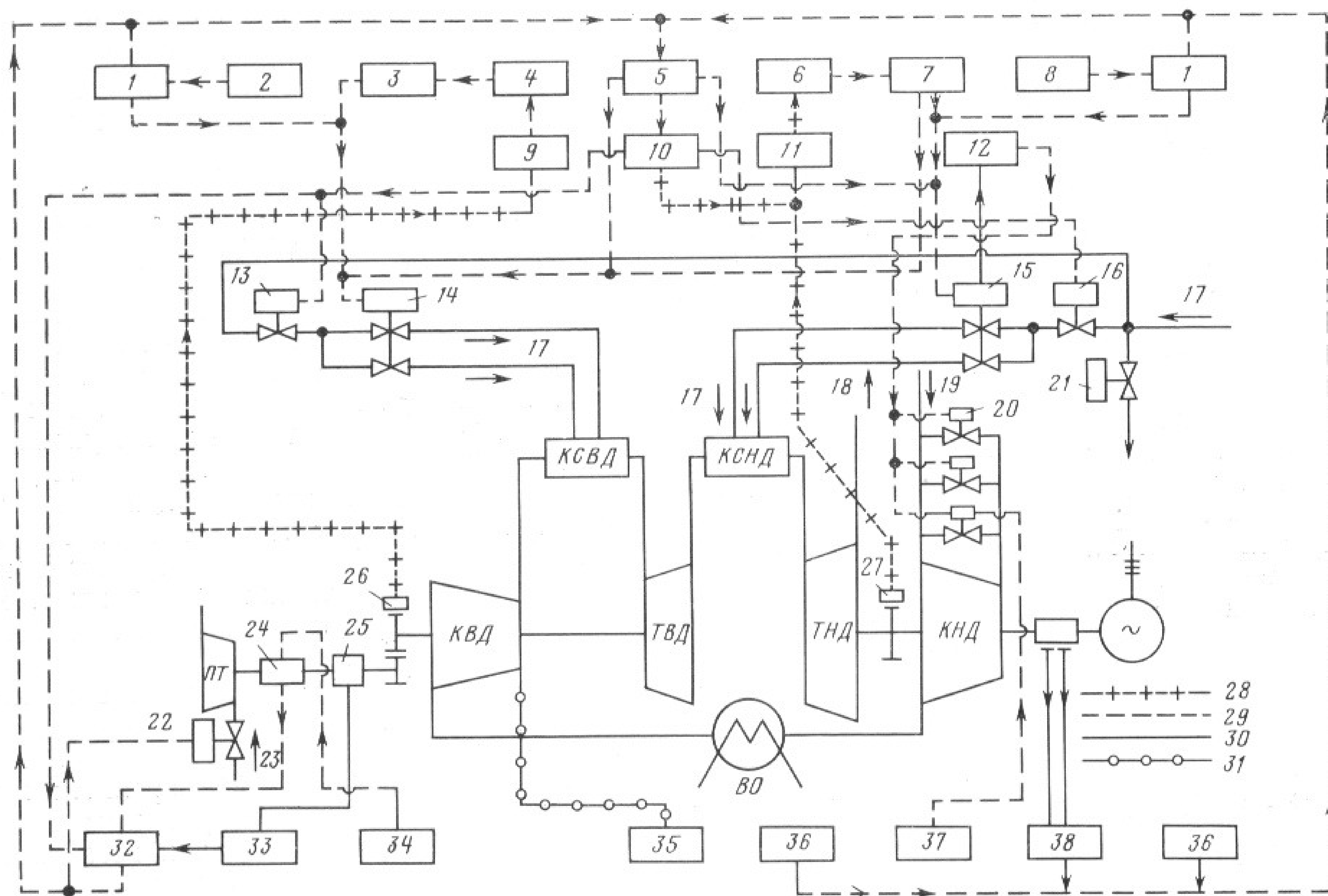


Рис. 7. Принципиальная схема системы регулирования ГТ-100-3М

ТНД; *6* — электромеханический преобразователь ТНД; *7* — золотник регулятора скорости ТНД; *8* — гидравлический ограничитель температуры перед ТВД; *9* — электрическая часть системы регулирования скорости ТВД; *10* — механизм управления; *11* — электрическая часть системы регулирования скорости ТНД; *12* — золотник управления антипомпажными клапанами; *13* — автоматический затвор КСВД; *14* — сервомотор регулирующего клапана КСВД; *15* — сервомотор регулирующего клапана КСНД; *16* — автоматический затвор КСНД; *17* — подвод жидкого топлива; *18* — выход газов; *19* — вход воздуха; *20* — антипомпажные клапаны; *21* — регулятор давления топлива; *22* — автоматический затвор пусковой турбины; *23* — подвод пара; *24* — расцепное устройство; *25* — автомат безопасности пусковой турбины; *26* — датчик частоты вращения вала ТВД; *27* — датчик частоты вращения вала ТНД; *28—31* — электрические, гидравлические, механические, воздушные обозначения каналов; *32* — выключатель пусковой турбины; *33* — рычаги автомата безопасности пусковой турбины; *34* — переключатель положения расцепного устройства; *35* — масляный аккумулятор; *36* — электромагнитный выключатель; *37* — помпажный регулятор КНД; *38* — рычаги автомата безопасности ТНД.

Установка ГТ-100-3М оснащена электрогидравлической системой регулирования, обеспечивающей благоприятные режимы пуска, устойчивую работу агрегата при синхронизации и после включения в сеть; ограничение роста частоты вращения после сброса нагрузки и сохранение ГТУ в работе на холостом ходу, а также его останов при аварии. Сигналы электрических датчиков частоты вращения валов ТВД и ТНД усиливаются в электрической части системы регулирования и через следящие золотники, преобразующие перемещения якорей электромеханических преобразователей в изменения давления импульсного масла, вызывают перемещения сервомоторов регулирующих клапанов, управляющих расходами топлива в камеры сгорания. Электромеханический преобразователь ТНД регулирует расход топлива в обе камеры сгорания, преобразователь ТВД — только в КВСД.

Команды, вводимые оператором дистанционно или автоматически, например при пуске ГТУ через механизм управления, преобразуются в давление импульсного масла через золотник механизма управления, перемещаемый усилием пружины по профилированному кулачку.

Перемещением распределительных клапанов регулируется расход топлива, перемещением антипомпажных клапанов — изменение количества воздуха, сбрасываемого с выхлопа на всас КНД, перемещением регулирующего клапана пусковой паровой турбины — изменение расхода пара и мощности пусковой турбины.

Управление сервомоторами антипомпажных клапанов осуществляется автоматически сервомотором КСНД (ТНД). Кроме того, на сервомотор одного из этих клапанов действуют также сигнал, вырабатываемый специальным антипомпажным регулятором по измеренным с помощью гидравлических мембранных устройств перепадам давления на входном патрубке КНД (пропорционален приведенному расходу) и в КНД (пропорционален степени сжатия). Действием этого регулятора клапан может быть открыт на рабочих режимах

в тех случаях, когда происходит опасное уменьшение запаса устойчивости КНД.

Система регулирования ГТУ включает также устройства, автоматически поддерживающие постоянное давление жидкого топлива через ГТУ или постоянный перепад давления природного газа на регулирующих клапанах; устройства управления пусковой турбиной; устройства ограничений и защит, в частности, быстродействующий гидравлический ограничитель температуры газов перед ТВД и ТНД; устройства маслоснабжения (маслосистема регулирования — автономная).

Сигналы, вырабатываемые электрическими датчиками частот вращения, используются в системе автоматического пуска для начала или завершения отдельных этапов, включения и выключения вспомогательных устройств и так далее.

Газовоздухопроводы. Во всасывающем бетонном воздуховоде размещены две ступени пластинчатых глушителей шума. От ТНД газы выходят через два параллельных газохода к дымовой трубе.

Газоснабжение ГТУ осуществляется по газопроводу под давлением 12 кг/см². Для подачи в КСВД давление повышается до 36 кг/см² с помощью нагнетателей 40-51-1 НЗЛ с электроприводом, которые расположены в отдельном здании. Производительность каждого из трех нагнетателей — 300 м³/мин, частота вращения — 17,3 тыс. об/мин.

Газотурбинная установка ГТЭ-150

КОД ОКП 31 1121 1404

Учитывая тенденции развития мирового газотурбостроения и потребности отечественной энергетики в более совершенных и маневренных ГТУ большой мощности, в ПО турбостроения «Ленинградский Металлический завод» спроектирована новая ГТУ типа ГТЭ-150 (рис. 8) — перспективная на длительный период времени.

Одновременно были выполнены проработки и намечены технические решения дальнейшего повышения мощности до 200 МВт и экономичности новой ГТУ при сохранении ее основных элементов и узлов.

Выпуск головного образца ГТЭ-150 намечен на ближайшие годы.

Новая ГТУ спроектирована по простой тепловой схеме (рис. 9) в одновальном исполнении турбогруппы и предназначена для работы в пиковом и полупиковом режимах эксплуатации для автономной работы, а также в цикле ПГУ.

Увеличение единичной мощности по сравнению с выпускаемой в настоящее время в ПО ЛМЗ установкой типа ГТ-100-3М достигается увеличением расхода рабочего тела с 430 до 630 кг/с и повышением начальной температуры газа с 750 до 1100° С.

Несмотря на значительное увеличение расхода рабочего тела, за счет упрощения тепловой схемы и оптимизации конструкции достигнуто существенное уменьшение габаритных размеров и массы турбогруппы. Это упрощает, удешевляет транспортировку ГТУ к месту эксплуатации.

Принятые в проекте новой мощной ГТУ технические и конструктивные решения обеспечивают значительное сокращение удельных показателей металлоемкости и трудоемкости изготовления ГТЭ-150 по сравнению с установкой ГТ-100-3М. Это свидетельствует о том, что переход к серийному производству новой ГТУ будет сопровождаться значительной экономией материальных и трудовых ресурсов.

В качестве топлива в ГТЭ-150 может быть использовано жидкое газотурбинное топливо или природный газ. Переход с одного вида топлива на другое обеспечивается без останова ГТУ. В ГТЭ-150 предусмотрено использование теплоты выхлопных газов ГТУ при ее эксплуатации в комбинированном с паротурбинной установкой цикле с котлом-утилизатором или с теплофикационным подогревателем.

Система регулирования обеспечивает автоматический запуск ГТЭ-150 и выход на полную нагрузку.

В связи с низким уровнем освоенной к настоящему времени в СССР на крупных стационарных ГТУ начальной температуры и большим объемом технических трудностей, подлежащих преодолению при ее дальнейшем повышении, освоение принятой для новой ГТУ начальной температуры (1100° С) предполагается производить в два этапа. Техническая характеристика ГТЭ-150 в режиме пиковой нагрузки для первого и второго этапов освоения при стандартных внешних условиях, приведена ниже.

Техническая характеристика ГТЭ-150

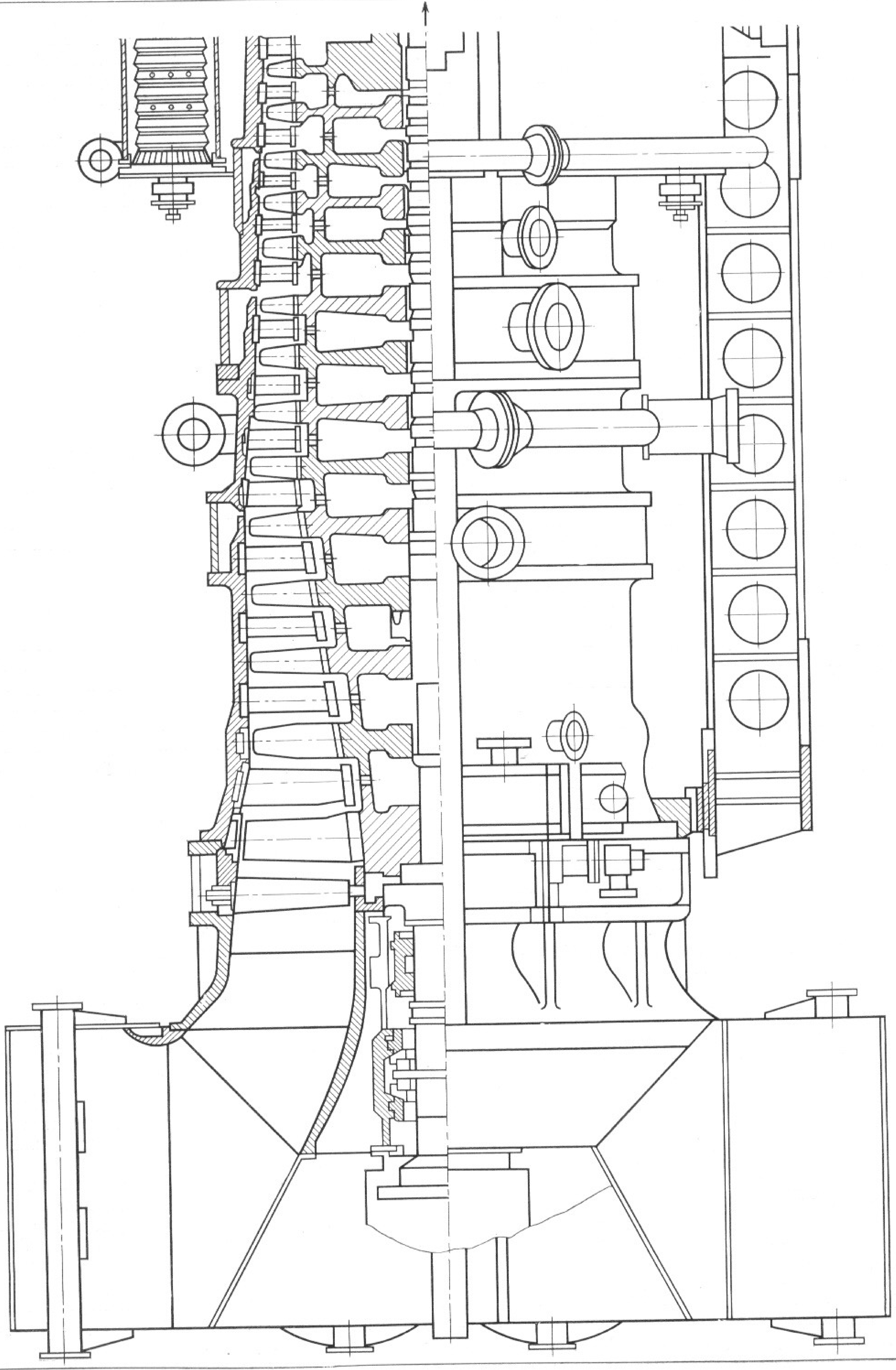
	I этап	II этап
Мощность на клеммах электрического генератора, МВт	128	157
Температура газов перед турбиной, °C	950	1100
Температура газов за турбиной, °C	423	506
Расход воздуха на входе в компрессор, кг/с	636	630
Степень повышения давления в компрессоре	12,8	13,0
Частота вращения вала, об/мин	3000	3000
Габаритные размеры турбогруппы, м	15,1×5,15×5	

$\eta_{oi}^{к}=0{,}86-0{,}88$

$\eta_{oi}^{T}=0{,}89-0{,}92$

На первом этапе обеспечивается уровень температур 950° С, позволяющий ограничиться охлаждением первого ряда статорных лопаток турбины и исключить необходимость охлаждения роторных лопаток.

На втором этапе, после освоения технологии изготовления охлаждаемых лопаток ротора турбины, температура газов перед турбиной повышается до номинального значения 1100° С. Конструкция турбогруппы обеспечивает возможность перехода с первого этапа на второй на одной и той же установке с заменой при переходе ко второму этапу роторных лопаток 1-й ступени и статорных лопаток 2-й ступени.



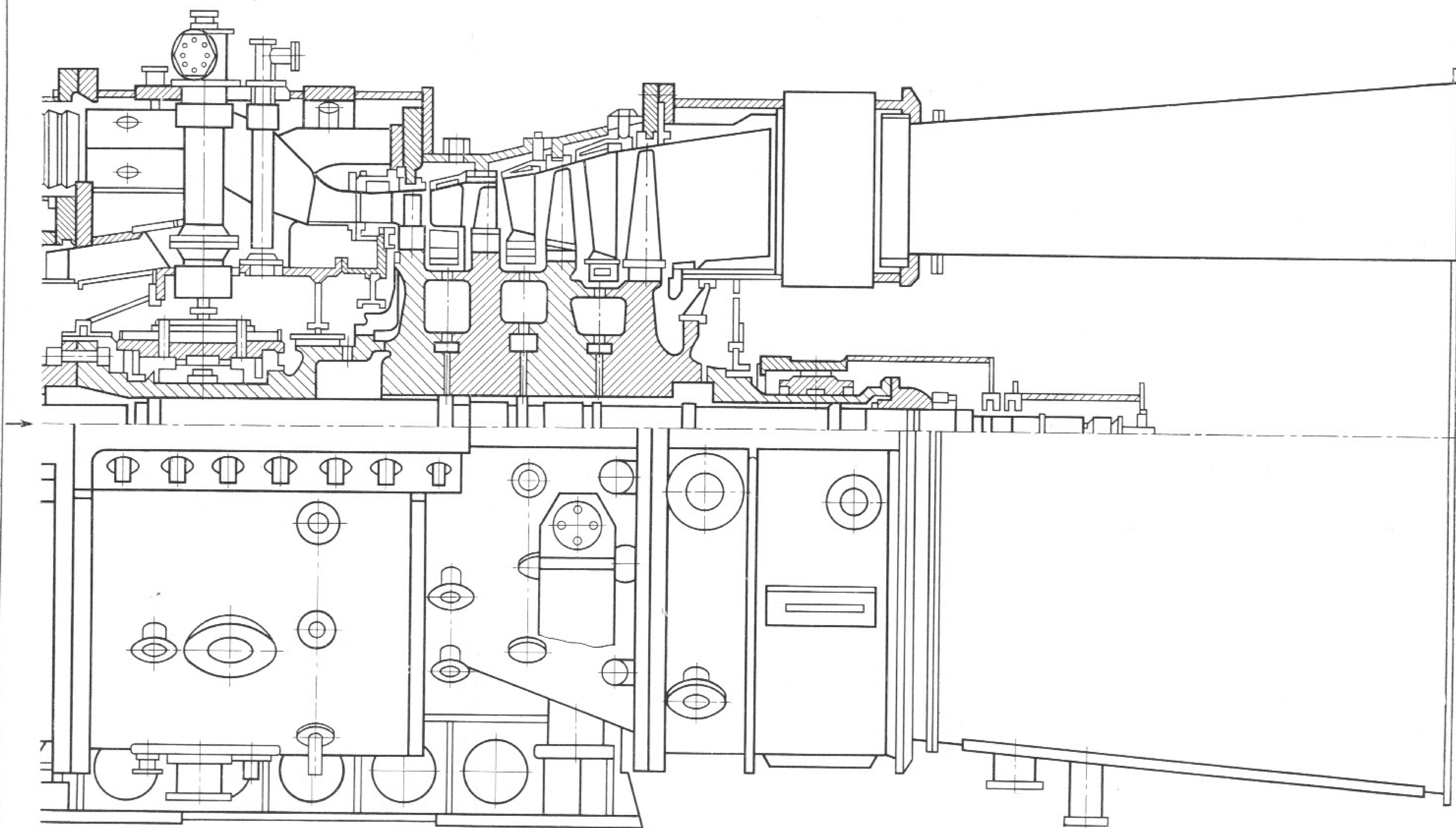


Рис. 8. Продольный разрез газотурбинной установки ГТЭ-150

Конструкция установки. Турбогруппа выполнена в виде единого установленного на раме сборочного блока, включающего 14-ступенчатый компрессор, четырехступенчатую турбину и 14 встроенных камер сгорания секционного типа с кольцевым, симметричным относительно оси машины расположением жаровых труб. Движение рабочего тела в пределах турбогруппы — преимущественно прямоточное, что обеспечивается принятым взаимным расположением основных элементов турбогруппы и направлением движения рабочего тела в пределах каждого элемента.

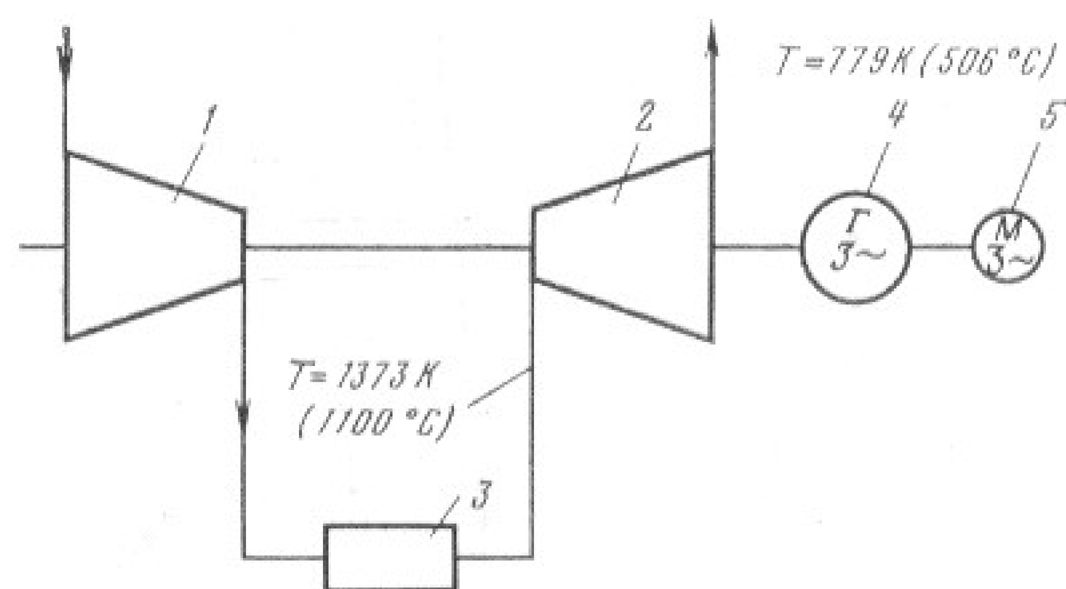


Рис. 9. Принципиальная тепловая схема газотурбинной установки ГТЭ-150:

1 — компрессор; *2* — турбина; *3* — камера сгорания; *4* — электрический генератор; *5* — пусковой двигатель

В связи с высоким уровнем скоростей выхлопных газов за последней ступенью турбины (около 300 м/с) и большими значениями объемных расходов на выхлопе (около 1400 м^3/с) принята конструкция турбогруппы с осевым выхлопом круглого сечения, что определило место установки электрического генератора со стороны всасывания компрессора. Воздух подводится к осевому компрессору сбоку.

Корпус турбогруппы имеет разъем в горизонтальной плоскости, ряд технологических и эксплуатационных стыков в вертикальных плоскостях и опирается на стойки фундаментной рамы в шести точках.

Передние опорные стойки закреплены на раме неподвижно и вместе с опорными кронштейнами, продольной и поперечными шпонками корпуса компрессора образуют фикспункт корпуса турбогруппы. Средние и задние опорные стойки — качающиеся, закреплены на осях, выполненных на фундаментной раме и корпусе турбогруппы. В конструкции обеспечивается возможность выемки пламенных труб камер сгорания без вскрытия корпуса, а также возможность выемки переходных патрубков пламенных труб и диафрагмы с сопловыми лопатками 1-й ступени при частичном вскрытии корпуса.

Габаритные размеры и масса турбогруппы обеспечивают возможность ее транспортировки к месту эксплуатации в собранном и установленном на фундаментную раму виде на железнодорожном транспорте грузоподъемностью 220 т, поэтому монтаж и пуск серийных агрегатов в эксплуатацию может быть обеспечен без вскрытия турбогруппы.

ГТУ может быть смонтирована в машинном зале с пролетом 36 м и шагом между соседними установками 24—30 м. Высота площадки обслуживания машинного зала ~4 м, высота крановых путей — 16 м, грузоподъемность крана — 125 т.

Ротор турбогруппы соединен с ротором электрического генератора посредством промежуточного вала с жесткими муфтами. Блок пускового и валоповоротного устройства ГТУ расположен со стороны свободного конца ротора генератора. Запуск ГТУ осуществляется специальной паровой турбиной мощностью около 3,5 МВт, расположенной в этом блоке.

По своим основным показателям ГТЭ-150 находится на уровне лучших зарубежных образцов.

Газовая утилизационная бескомпрессорная турбина (ГУБТ)

КОД ОКП 31 1124 1101

Самым рациональным методом использования избыточного давления доменного газа на металлургических заводах является установка расширительных газовых бескомпрессорных турбин вместо существующих дроссельных устройств.

Газовая утилизационная бескомпрессорная турбина типа ГУБТ (рис. 10), изготовляемая ПО «Турбомоторный завод» им. К. Е. Ворошилова, предназначена для выработки электроэнергии путем утилизации избыточного давления газа под колошником доменной печи. В ПО «Турбомоторный завод» создан унифицированный типоразмерный ряд турбин ГУБТ мощностью от 6 до 12 тыс. кВт. Эти турбины успешно эксплуатируются на металлургических заводах страны. Установка агрегата ГУБТ на газорасширительной станции представлена на рис. 11.

Фактически развиваемая мощность турбины зависит от режима работы доменной печи и определяется расходом и давлением проходящего через ГУБТ доменного газа и температурой его подогрева.

Турбина легко встраивается в технологический цикл как вновь вводимого, так и действующего доменного производства.

Рабочим телом для газовой турбины является доменный газ, прошедший перед поступлением в турбину мокрую очистку, подсушку и подогрев до 120—140° С. Турбина приводит во вращение генератор переменного тока.

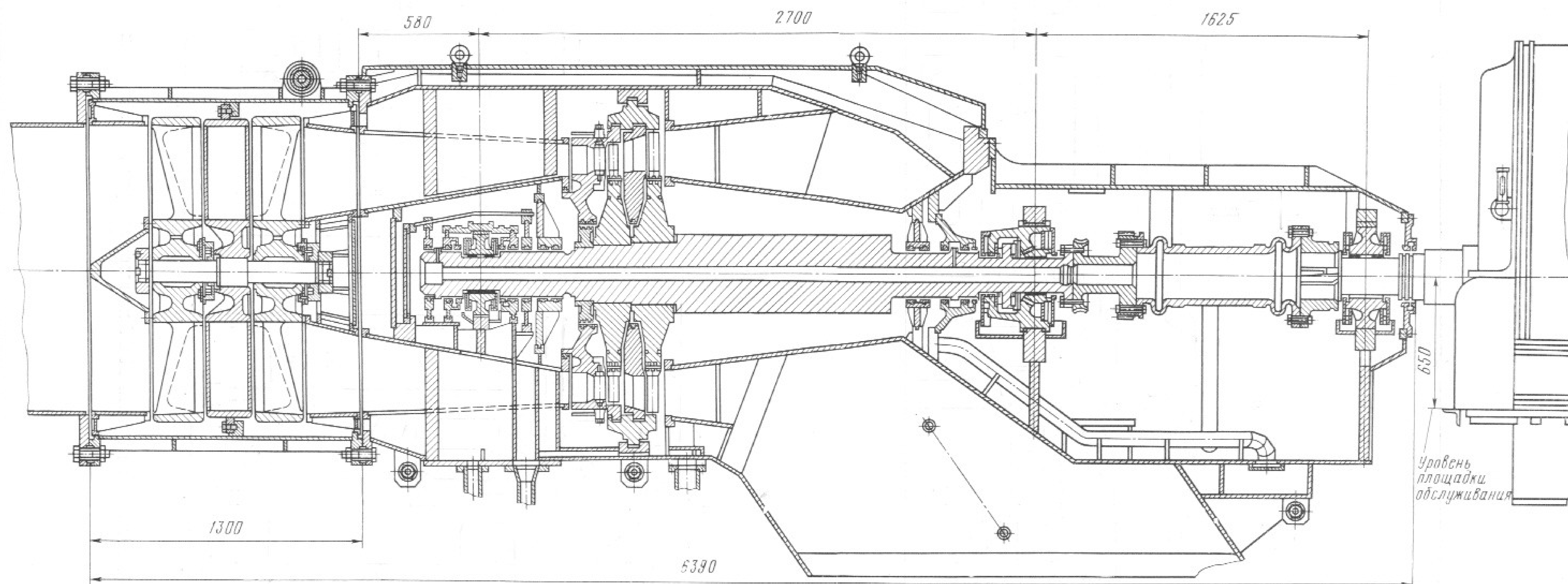
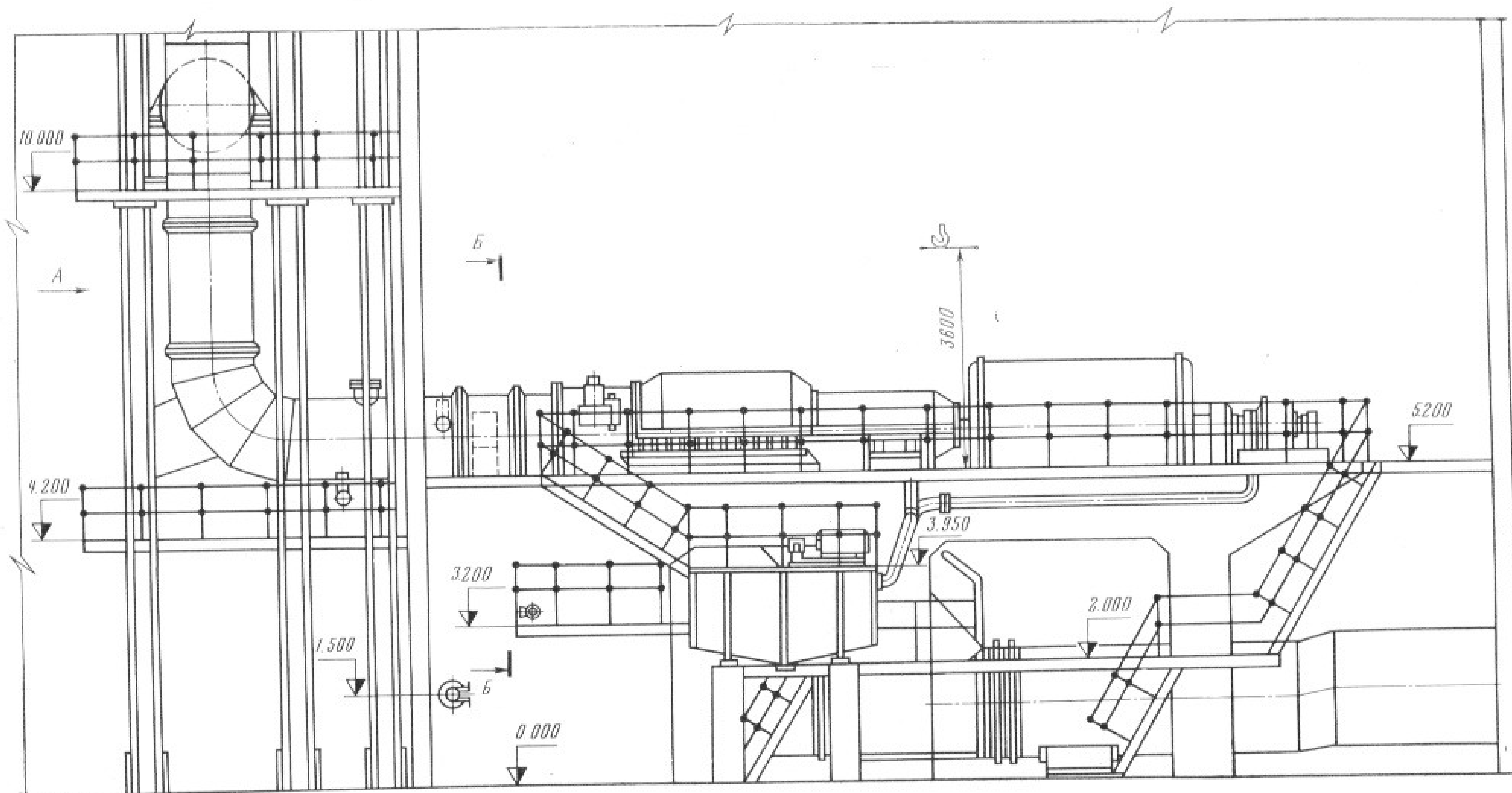
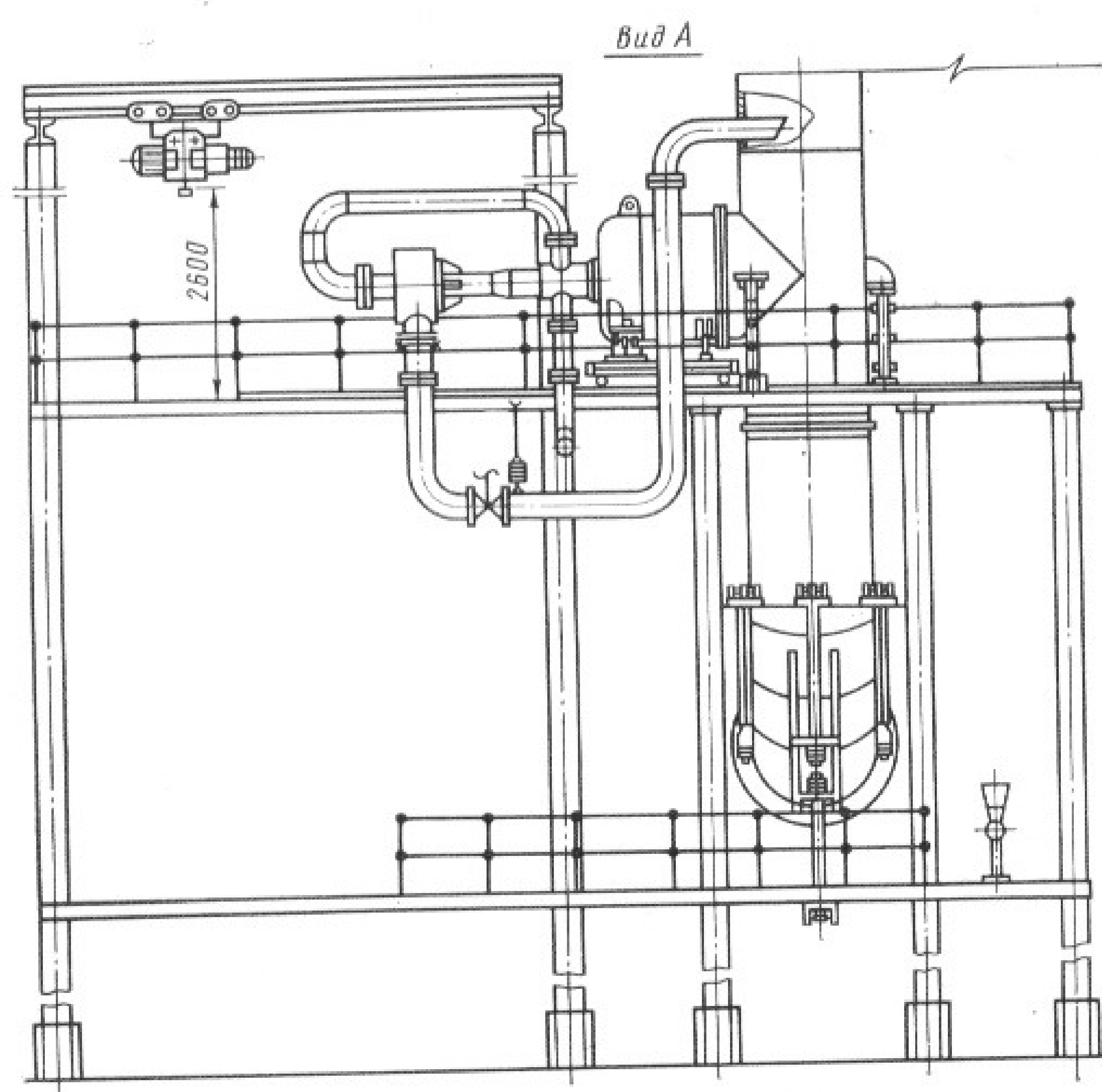


Рис. 10. Продольный разрез газотурбинной установки ГУБТ





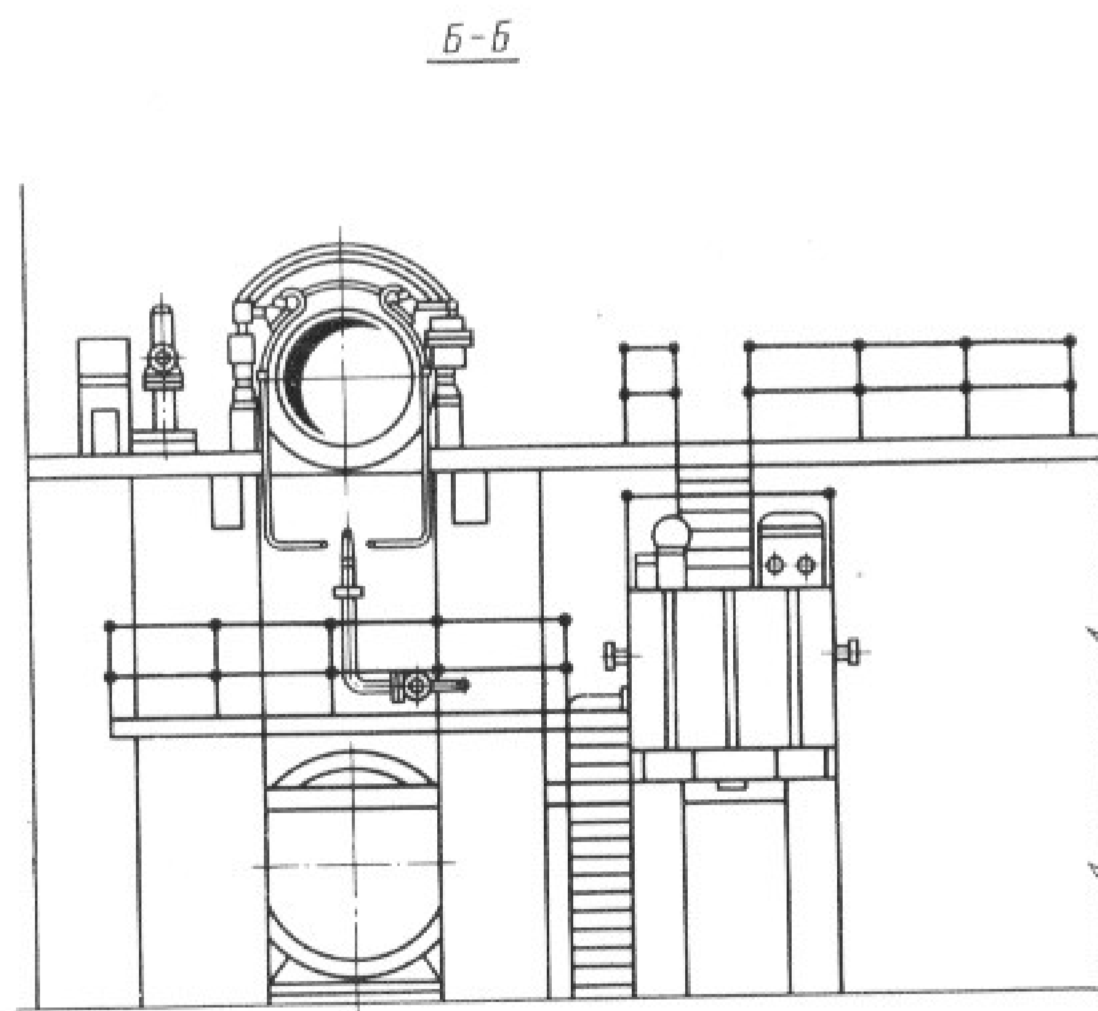


Рис. 11. Установка агрегата ГУБТ на газорасширительной станции

Техническая характеристика ГУБТ-12

Мощность номинальная на муфте вала турбины, МВт	12
Расход доменного газа через турбину, отнесенный к нормальным условиям (давление 760 мм рт. ст., температура 0° С), нм³/ч	3,6·10⁵
Давление (избыточное) доменного газа после газоподогревателя, Па:	
перед турбиной (расчетное)	2,3·10⁵
за турбиной	0,15·10⁵
Температура доменного газа после газоподогревателя (не более), °С	140
Частота вращения ротора, об/мин	3000
Внутренний относительный КПД, %	85
Максимально допустимая мощность турбины, МВт	16
Удельная масса, кг/кВт	4,8
Габаритные размеры, м	6,3×2,08×2,8

Конструкция установки. Турбина представляет собой одноцилиндровый прямоточный двухступенчатый агрегат.

Направляющие лопатки 1-й ступени — поворотные. Угол установки выбирается заводом-изготовителем в зависимости от производительности домны. Впускной патрубок турбины выполнен осевым, а выхлопной патрубок наклонен под углом 55° к горизонтальной оси турбины.

Корпус турбины — сварной, благодаря чему удалось получить большую жесткость при малой массе. Корпуса переднего и заднего подшипников выполнены заодно с корпусом турбины. Корпус турбины опирается на четыре фундаментные опоры.

Ввиду высокой токсичности доменного газа приняты особые меры для предотвращения попадания доменного газа в машинный зал. Разработана оригинальная система концевых уплотнений с подачей запирающего азота (воздуха). Герметичный кожух, покрывающий турбину, предотвращает попадание газа в машинный зал. Из-под кожуха газ отсасывается с помощью воздушного эжектора.

Турбина полностью автоматизирована и может работать без постоянного присутствия обслуживающего персонала в машинном зале. Контроль за работой турбины осуществляется с пульта управления доменной печи.

В турбине типа ГУБТ усовершенствована схема автоматического пуска и останова. Пуск турбины и ее нагружение осуществляются нажатием на кнопку автоматического пуска. Система автоматического управления, регулирования, защиты и останова осуществляет непрерывный контроль за работой турбины на всех режимах и исключает ошибки персонала при управлении агрегатом. В качестве быстрозапорного и регулирующих органов турбины служит блок поворотных диафрагм.

Система маслоснабжения турбины и электрогенератора единая. Герметичный масляный бак расположен на отдельном фундаменте, где смонтировано вспомогательное оборудование—аварийный масляный насос, маслоохладитель, инжекторы, маслофильтры. Количество масла, заливаемого в бак, — 7 м³. Количество масла, необходимого для смазки подшипников турбины, составляет 500 л/мин при давлении 0,8 кг/см².

Вся турбина и система регулирования представляют единый блок длиной 6,4 м и шириной 2,1 м.

Газотурбинная установка ГТТ-3М

КОД ОКП 31 1125 1103

Газотурбинная установка ГТТ-3М (рис. 12), разработанная ПО «Невский завод» им. В. И. Ленина, изготовляется Дальневосточным заводом энергетического машиностроения (Дальэнергомаш) и предназначается для снабжения воздухом цеха производства слабой азотной кислоты с одновременной выработкой некоторого количества электроэнергии и использованием тепла уходящих газов для выработки пара.

Номинальный режим работы установки характеризуется следующими параметрами:

Техническая характеристика ГТТ-3М

Расход воздуха на технологическое производство, приведенный к 20° С и 1,013·10⁵ Па, м³/ч	78 800
Давление воздуха, Па:	
за установкой	7,2·10⁵
на входе во всасывающий патрубок осевого компрессора	0,95·10⁵
Давление газа перед турбиной, Па	5,3·10⁵
Температура газа перед турбиной, °С	700
Частота вращения ротора осевого компрессора, об/мин	5100

Конструкция установки. В установку входят: осевой компрессор; редуктор для передачи вращения от турбины к мотор-генератору и нагнетателю; мотор-генератор, предназначенный для запуска агрегата и отдачи избыточной энергии в сеть; центробежный нагнетатель; воздухоохладитель; камера сгорания; система смазки агрегата; система регулирования и защиты.

Тепловая схема газотурбинной установки ГТТ-3М представлена на рис. 13. Воздух из атмосферы засасывается осевым компрессором и сжимается в нем до давления $3,46\cdot10^5$ Па, нагреваясь при этом до температуры 173° С. Проходя через воздухоохладитель, воздух охлаждается до 42° С и поступает в нагнетатель, в котором сжимается до давления $7,2\cdot10^5$ Па, нагреваясь при этом до 135° С. Из нагнетателя основное количество воздуха (около 90% по весу) поступает в цех азотной кислоты, возвращаясь оттуда в виде хвостовых газов с температурой 730° С и давлением около $5,3\cdot10^5$ Па.

Хвостовые газы несколько охлаждаются за счет смешения их с продуктами горения камеры сгорания, куда вместе с топливом подается некоторая часть оставшегося воздуха из нагнетателя. Получившаяся при этом смесь с температурой не выше 700° С поступает в турбину, где расширяется до

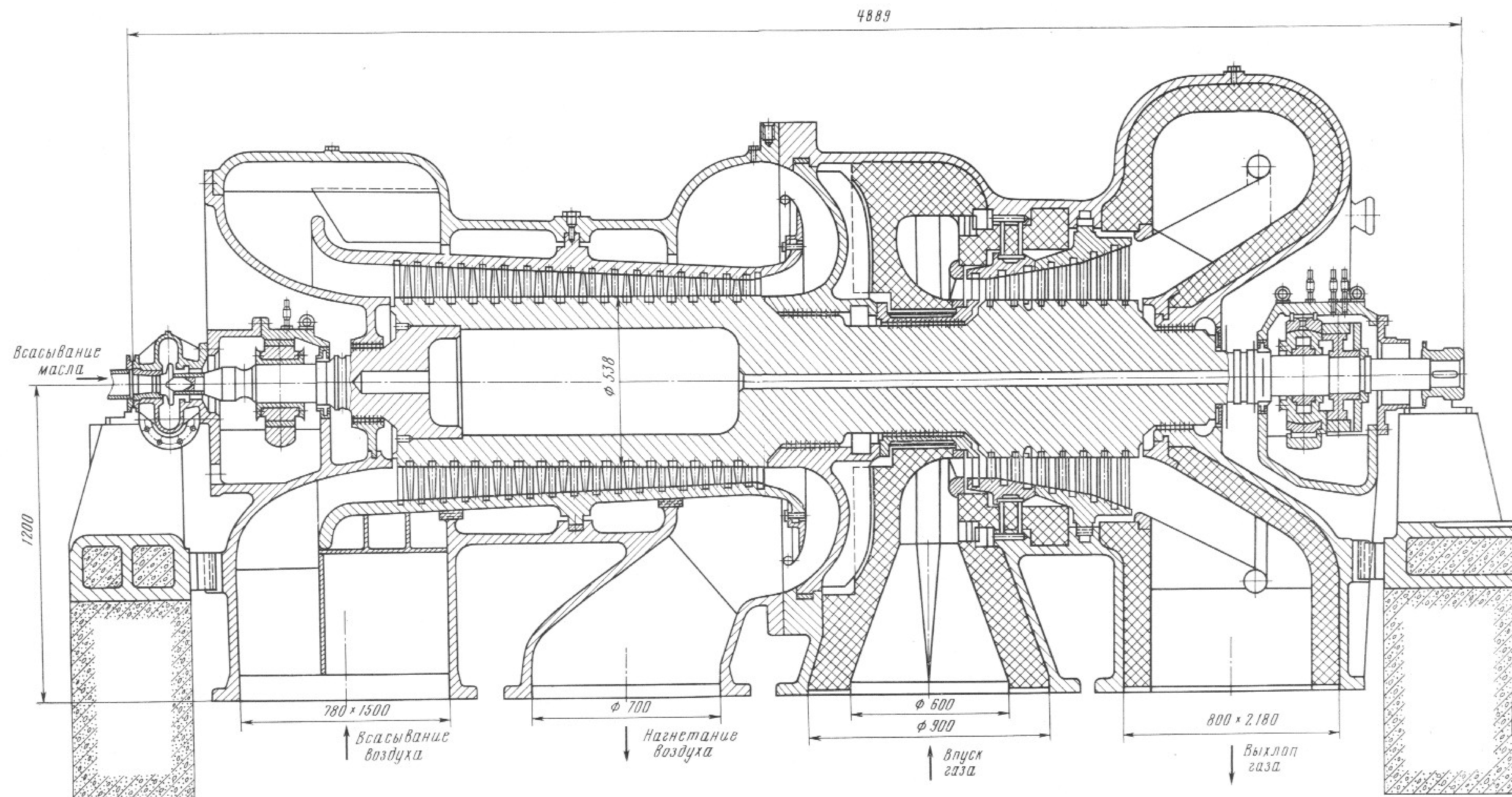


Рис. 12. Продольный разрез газотурбинной установки ГТТ-3М

давления, близкого к атмосферному. Температура выхлопных газов при этом около 408° С.

Отработанные в турбине газы проходят через котел-утилизатор, где отдают часть содержащегося в них тепла для выработки пара и через дымовую трубу уходят в атмосферу.

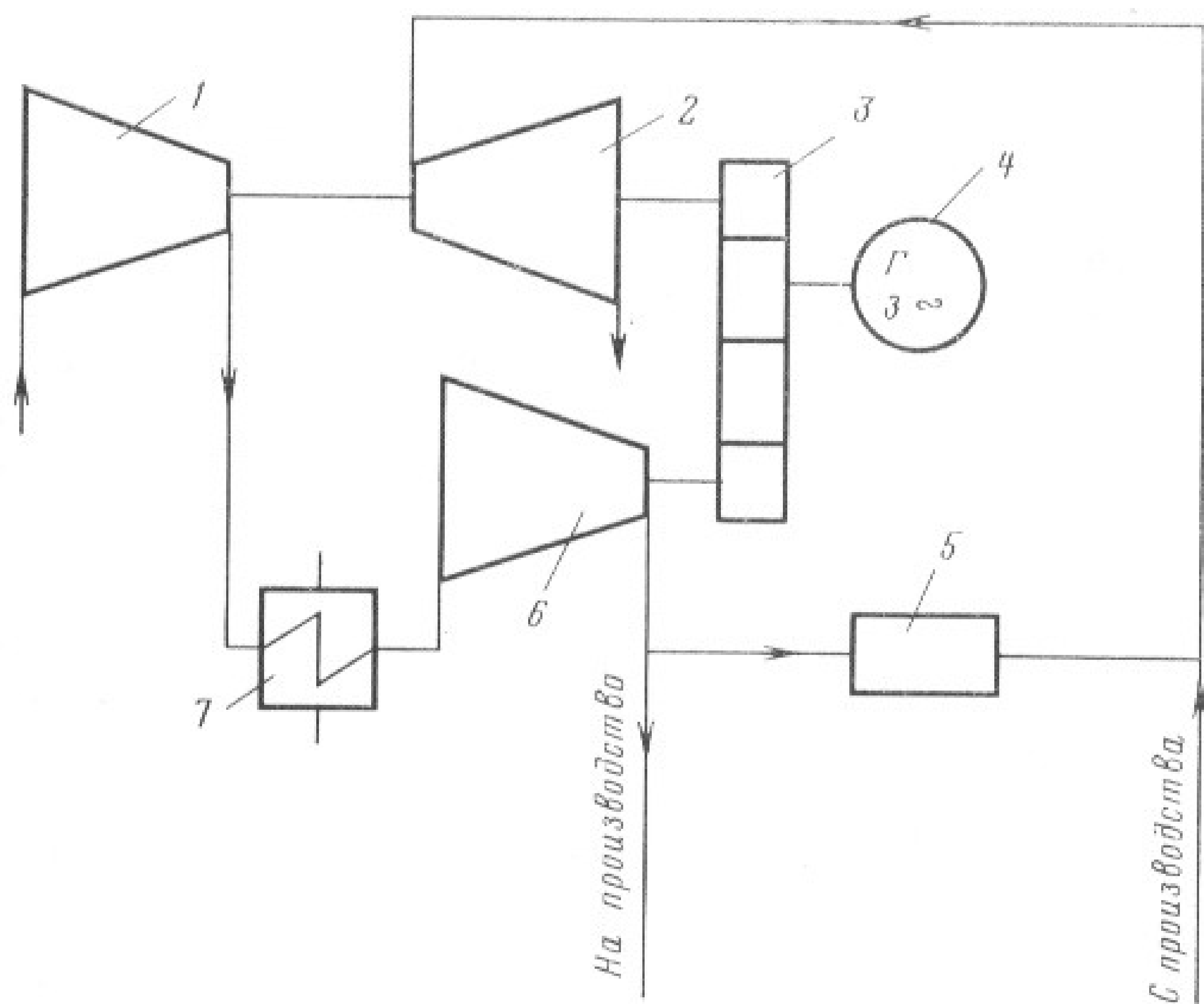


Рис. 13. Принципиальная тепловая схема газотурбинной установки ГТТ-3М:
1 — осевой компрессор; *2* — турбина; *3* — редуктор; *4* — мотор-генератор; *5* — камера сгорания; *6* — нагнетатель; *7* — воздухоохладитель

Полученная в результате расширения газов энергия турбины затрачивается, в основном, на сжатие воздуха в осевом компрессоре и центробежном нагнетателе для подачи его в цех слабой азотной кислоты. Оставшаяся (избыточная) часть энергии передается мотор-генератору для выработки электроэнергии. Количество избыточной мощности, отдаваемое мотор-генератором, зависит от величины отбора воздуха и увеличивается по мере уменьшения отбора.

Газотурбинный агрегат запускается при отключении его от технологического цикла. Пуск установки производится мотор-генератором, который в этот период работает в режиме двигателя.

Турбокомпрессор. Газовая турбина и осевой компрессор конструктивно объединены в общем корпусе и имеют общий ротор, выполненный из одной поковки.

Корпус турбокомпрессора состоит из двух частей, соединенных между собой вертикальным фланцем и имеющих разъем в горизонтальной плоскости.

Компрессорная часть корпуса состоит из стального литого наружного корпуса, внутри которого в кольцевой выточке устанавливается отлитая из чугуна обойма направляющих лопаток. В нижней половине корпуса отлиты всасывающий и нагнетательный патрубки, а также корпус переднего (опорного) подшипника и опорные лапы.

Обойма направляющих лопаток состоит из двух половин, соединенных горизонтальным фланцем и отцентрована в корпусе при помощи четырех съемных опорных лапок и двух шпонок. Обойма имеет 18 Т-образных канавок для установки направляющих лопаток. В нагнетательной части обойма оснащена кольцевой наставкой, которая в сочетании с диафрагмой, разделяющей компрессорную и турбинную части, образует выходной диффузор.

Турбинная часть корпуса состоит из литого наружного корпуса, внутри которого устанавливаются две обоймы с направляющими лопатками, разделительная диафрагма, входная и выхлопная сварные вставки, изготовленные из тонкой листовой стали. Пространство между вставками и внутренней поверхностью корпуса заполнено изоляцией. В нижней половине корпуса отлиты входной и выхлопной патрубки, корпус заднего опорно-упорного подшипника и четыре опорные лапы.

Разделительная диафрагма состоит из двух половин и установлена в кольцевой расточке корпуса. Диафрагма отцентрована в корпусе при помощи двух горизонтальных приварных лапок и шпонки.

Входная вставка, работающая при температуре 700° С, изготовлена из аустенитной стали Х18Н10Т и состоит из двух половин.

Выхлопная вставка — из двух половин, состоит из выходного диффузора и сборной камеры, в нижней половине которой расположен выхлопной патрубок.

Обойма, в которой установлены первые три ряда направляющих лопаток турбины, разрезана на 10 секторов по окружности. Секторы набираются на Г-образные выступы в тонкостенных полукольцах, заведенных в Т-образные канавки верхней и нижней половин корпуса.

Обойма, в которой установлены последние четыре ряда направляющих лопаток турбины, своим гребнем устанавливается в кольцевой расточке корпуса.

При помощи приварной ленты и перегородок в кольцевой расточке верхней и нижней половин корпуса образованы каналы. Через эти каналы по трубам подается охлаждающий воздух для отвода тепла, передающегося горячим гребнем обоймы корпусу в месте их взаимного прилегания.

Ротор турбокомпрессора состоит из двух частей. Барабанная часть ротора изготовлена из жаростойкой стали типа ЭИ-802. Передний конец вала запрессован в расточке барабана компрессора.

На переднем конце ротора при помощи винта с обтекаемой головкой закреплено рабочее колесо главного масляного насоса. На заднем конце ротора насажена зубчатая полумуфта для соединения с валом редуктора.

Центробежная крыльчатка, выполненная заодно целое с турбинным ротором, нагнетает воздух в камеру после концевого уплотнения турбины и создает воздушный затвор, препятствующий прорыву газа через заднее лабиринтное уплотнение.

Ротор турбины оснащен семью рядами рабочих лопаток, имеющих хвостовики зубчатого профиля. Лопатки — фрезерованные. Лопатки трех последних рядов прошиты демпферной проволокой.

Ротор турбокомпрессора — гибкий, его критическая частота вращения — 3110 об/мин. Общая масса ротора около 5,6 т.

Ротор турбокомпрессора вращается на двух вкладышах, передний из которых является опор-

ным. Корпус опорного подшипника отлит заодно целое с нижней половиной корпуса компрессора и закрывается крышкой. К переднему торцу корпуса подшипника при помощи вертикального фланца присоединен корпус главного масляного насоса.

Корпус заднего подшипника, как и переднего, также отлит заодно целое с нижней половиной корпуса турбины. В корпусе подшипника установлен стальной комбинированный опорно-упорный вкладыш, который воспринимает разность осевых усилий.

К наружному торцу корпуса заднего подшипника крепится манжета, цилиндрическая часть которой входит в расточку корпуса редуктора. Ротор турбины и ведомый вал редуктора соединены между собой при помощи зубчатой муфты, расположенной в корпусе редуктора. Через наружный зубчатый венец на муфте роторы вращаются от валоповоротного устройства, расположенного на крышке редуктора.

Лопаточный аппарат компрессора состоит из 16 ступеней с реактивностью 50%. Как рабочие, так и направляющие лопатки всех ступеней выполнены из нержавеющей стали типа 2Х13.

Лопатки входного направляющего аппарата (ВНА) и соплового аппарата (СА) имеют постоянный профиль по высоте и набираются в пазах обоймы со вставками криволинейного профиля, прилегающими к вогнутой и выпуклой сторонам лопатки. Лопатки всех остальных 16 рядов выполнены заодно целое с хвостовой частью и набираются в пазы с применением плоских промежуточных вставок.

Проточная часть турбины составлена семью рядами рабочих и направляющих лопаток. Направляющие лопатки первых трех рядов, отфрезерованные заодно с хвостовой частью, выполнены из аустенитной стали ЭИ-893 и набраны в обойме разрезанной на десять секторов по окружности. Направляющие лопатки остальных четырех рядов изготовлены из стали 15Х12ВМФ и набраны в пазах обоймы с применением профильных вставок.

Камера сгорания обеспечивает работу агрегата в технологическом цикле, поддерживая температуру газа перед турбиной 700° С, для чего на расчетном режиме в камеру подается 5,3 т/ч воздуха, часть которого обеспечивает горение дежурного факела, а остальное количество, смешиваясь с хвостовыми газами, поступающими с технологического цикла, снижает температуру с 730 до 700° С. Кроме того, камера сгорания обеспечивает работу агрегата при запуске и на энергетическом режиме, когда через нее пропускается до 98 т/ч воздуха.

Огневая часть камеры сгорания выполнена из аустенитной стали и располагается в наружном корпусе, выполненном из перлитной стали. Горелочное устройство состоит из четырех основных, одной дежурной горелки и воспламенителя. Газ к основным горелкам подводится через кольцевой коллектор. Дежурная горелка и воспламенитель имеют раздельный подвод газа.

Воздухоохладитель. Охлаждение воздуха после сжатия в осевом компрессоре осуществляется в промежуточном воздухоохладителе.

Воздухоохладитель состоит из корпуса, в котором расположены два трубных пучка с водяными камерами. По воде каждый пучок — четырехходовой, по воздуху — одноходовой. Воздух, пройдя первый пучок, делает поворот в корпусе, проходит через второй пучок и уходит охлажденный через верхний патрубок.

Редуктор типа Р—4700/ $\frac{1,485}{0,59}$ — четырехвальный, горизонтального типа, с раздвоением мощности для привода нагнетателя и генератора. Привод нагнетателя состоит из шевронной зубчатой пары, передающей мощность до 3900 кВт при повышении частоты вращения от 5100 до 7573 об/мин.

Привод генератора состоит из шевронной зубчатой пары с паразитным колесом, передающей мощность до 800 кВт с понижением частоты вращения с 5100 до 3011 об/мин.

Центробежный нагнетатель типа 360-23-4 — одноцилиндровый агрегат одностороннего всасывания с двумя ступенями сжатия. Корпус нагнетателя отлит из чугуна и имеет разъем в вертикальной плоскости. Вертикальный разъем — технологический.

Ротор нагнетателя образован двумя колесами одинакового диаметра. Диски рабочих колес отфрезерованы заодно с рабочими лопатками.

Вал ротора — гибкий, его критическая частота вращения — 2810 об/мин.

Автоматическое регулирование и управление. Система автоматического регулирования выполнена гидравлической. Автоматическое управление, все блокировки и защиты выполнены с электрическими связями.

Система автоматического регулирования, изменяя подачу топлива в камеру сгорания, обеспечивает устойчивость работы установки на холостом ходу на энергетическом режиме, при включении и отключении технологического цикла. Система регулирования предохраняет установку от аварий, взаимодействуя с электрической схемой дистанционного управления и защиты.

Главным органом системы регулирования является регулятор скорости, поддерживающий заданную частоту вращения турбины. В качестве импульса для регулятора скорости и гидродинамического автомата безопасности используется напор, создаваемый главным насосом.

Для обеспечения безопасности работы установки, кроме обычных защит от повышения скорости вращения, осевого сдвига, падения давления масла, повышения температуры подшипников, в установке предусмотрена защита от погасания факела, повышения температуры газов перед турбиной и защита от помпажа.

Система смазки установки. В систему смазки установки входит следующее оборудование: масляный бак полезным объемом 4 м³, пусковой и резервный маслонасосы, маслоохладители, трубопроводы с необходимой арматурой.

Маслосистема при работе установки питается от главного маслонасоса, установленного на валу турбокомпрессора. Масло, находящееся под высоким давлением, используется для системы регулирования и защиты. Масло низкого давления смазывает и охлаждает вкладыши и зубчатые зацепления установки.

Комплексный машинный агрегат КМА-2

КОД ОКП 31 1125 1105

Комплексный машинный агрегат КМА-2 предназначен для сжатия и подачи в технологические аппараты воздуха и нитрозных газов при производстве слабой азотной кислоты, а также для утилизации тепла выхлопных технологических газов. КМА-2 устанавливается в цехах по производству азотной кислоты, работающих по технологической схеме АК-72М.

Разработчик документации — Научно-исследовательский, конструкторско-технологический институт по турбокомпрессоростроению (НИКТИ) ПО «Невский завод» им. В. И. Ленина.

Предприятие-изготовитель — Дальневосточный завод энергетического машиностроения.

Конструкция агрегата. В состав комплексного машинного агрегата входит газотурбинная установка ГТТ-12М, включающая воздушный компрессор и газовую турбину, а также нитрозный нагнетатель и две паровые турбины.

Техническая характеристика КМА-2 приведена ниже. Продольный разрез блока турбогруппы КМА-2 приведен на рис. 14, а на рис. 15 — тепловая схема КМА-2.

Для работы агрегата используется рабочий газ, который расширяясь в межлопаточных каналах ТВД и ТНД, отдает часть своей энергии, преобразующейся на рабочих лопатках турбин в полезную работу вращения роторов.

Ротор ТНД изготовлен заодно целое с ротором компрессора. При его вращении происходит засасывание воздуха в компрессор, его сжатие и подача в технологический цикл.

Ротор ТВД жестко соединен с валом нитрозного нагнетателя, и при его вращении происходит сжатие в нагнетателе нитрозного газа, поступающего из технологического цикла, и подача этого газа на производство кислоты в узел абсорбции технологической линии.

Паровые турбины предназначены для пуска машинного агрегата, для регулирования режима работы и компенсации недостающей мощности на валах КМА-2 при расчетных режимах и снижении эффективности турбин, компрессора и нагнетателя в процессе эксплуатации.

Техническая характеристика КМА-2

Параметры воздушного компрессора:	
давление, кПа (кгс/см²):	
на входе	94,1 (0,96)
на выходе	412,5 (4,2)
Температура на входе, °C	20
Объемный расход воздуха, выдаваемого на технологию, приведенный к нормальным условиям, м³/с	60
Параметры нитрозного нагнетателя:	
давление, кПа (кгс/см²):	
перед нагнетателем	353 (3,6)
за нагнетателем	1080 (11)
Температура перед нагнетателем, °C	65
Объемный расход газа, подаваемого в нагнетатель, приведенный к нормальным условиям, м³/с	53,4
Параметры газовой турбины:	
давление, кПа (кг/см²):	
перед турбиной	932 (9,5)
за турбиной	103 (1,05)
температура перед турбиной, °C	760
объемный расход через турбину, приведенный к нормальным условиям, м³/с	48,4
Частота вращения ротора, мин⁻¹:	
воздушного компрессора	5200
нитрозного нагнетателя	5000
Параметры пара перед стопорным клапаном паровых турбин:	
давление, кПа (кг/см²)	3430 (35)
температура, °C	420
Давление пара на выхлопе паровых турбин, кПа (кг/см²)	1670 (17)
Внутренний относительный КПД:	
компрессора	0,85
турбины	0,86
Габаритные размеры агрегата, м:	
длина	17,84
ширина	3,25
высота	3,11
Масса, т:	
агрегата в объеме поставки	122,2
наибольшего транспортируемого блока	67,0
Показатель блочности (число блоков)	7
Средний ресурс, ч:	
между средними ремонтами	12 000
между капитальными ремонтами	25 000
Наработка на вынужденный останов, ч	3000
Средний срок службы агрегата до списания, ч	100 000

Роторы ТВД и ТНД механически не связаны между собой, что позволяет надежно согласовать газодинамические характеристики турбин и компрессора на всех допустимых режимах работы. При этом частота вращения ротора ТНД может изменяться в зависимости от потребной производительности технологического цикла. Ротор ТВД всегда имеет номинальную частоту вращения.

Различают также статорную часть турбин и компрессора, которая состоит из корпусов и обойм с направляющими лопатками.

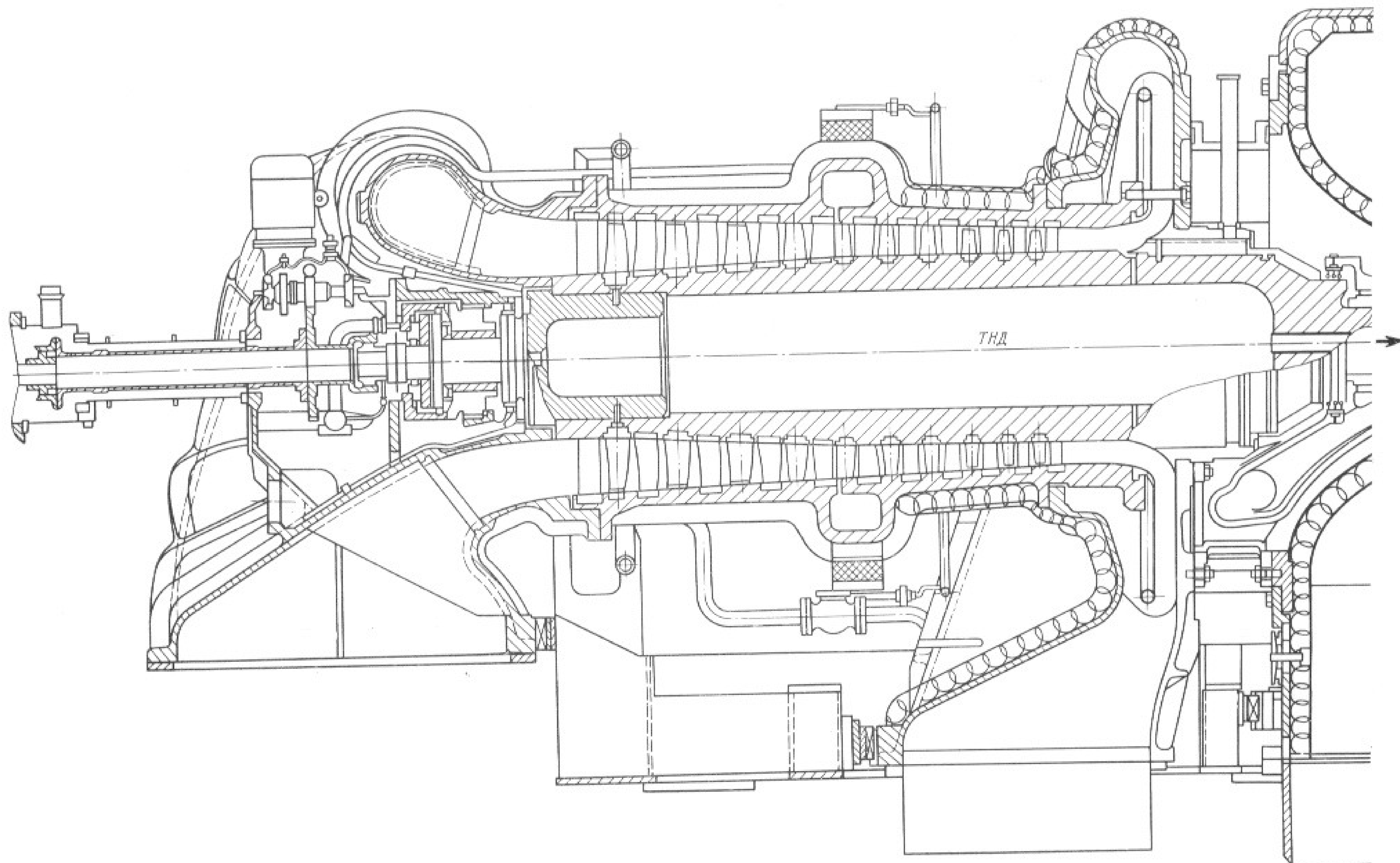
Рама агрегата является основанием для сборки и центровки между собой ТВД, ТНД и компрессора, облегчает их обслуживание и обеспечивает транспортировку агрегата крупным блоком с обвязкой трубопроводами, что повышает его надежность и уменьшает время монтажа на месте эксплуатации.

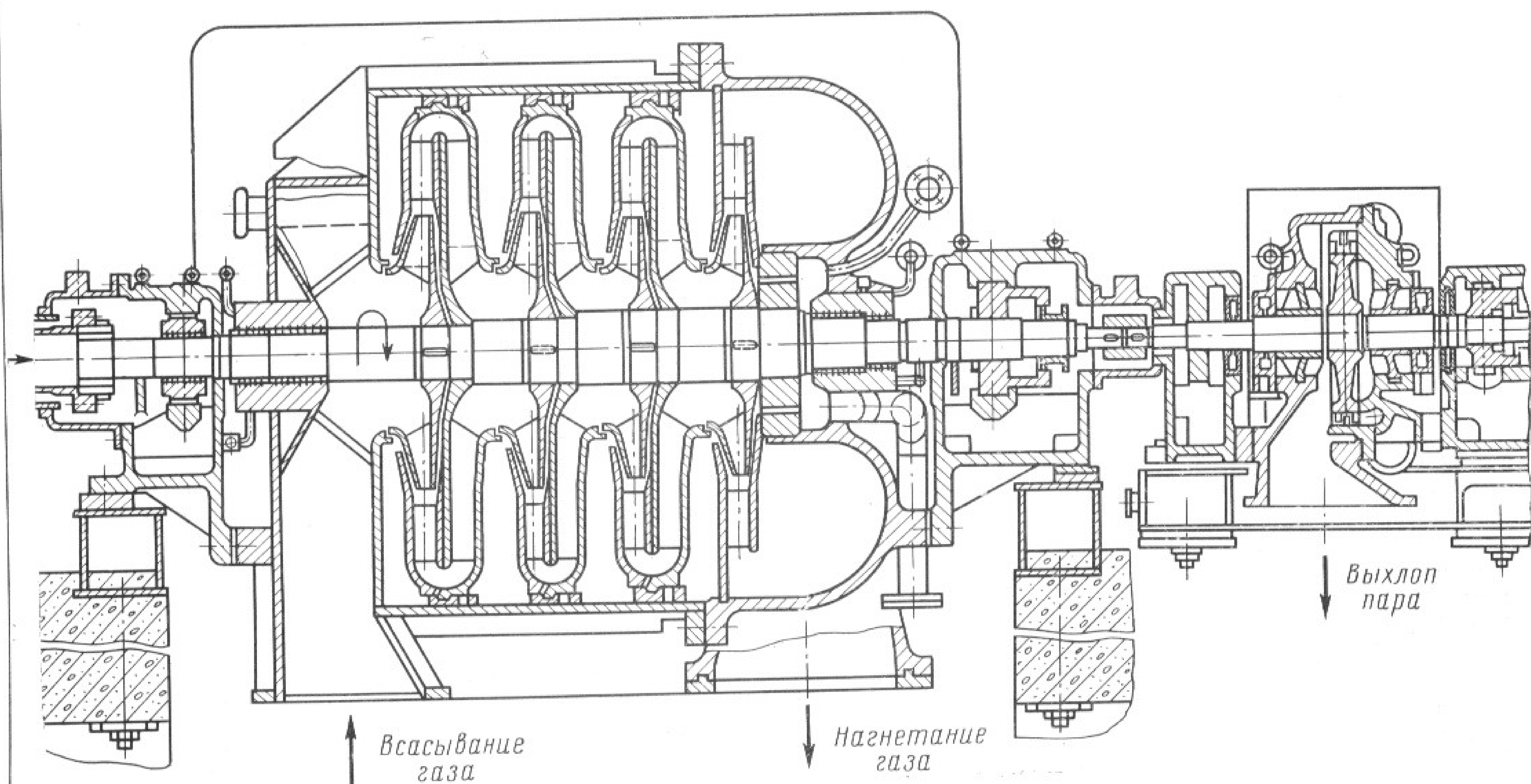
КМА-2 снабжен системами автоматического регулирования и защиты, маслоснабжения и системой централизованного контроля и автоматического управления.

Основные сборочные единицы комплексного машинного агрегата поставляются в состоянии повышенной заводской готовности в виде блоков в количестве семи шт.

Массогабаритные показатели блоков обеспечивают транспортировку железнодорожным транспортом и минимальные затраты при его монтаже на месте установки. Блок турбогруппы имеет железнодорожный негабарит 1-й степени. Масса блока турбогруппы в объеме отгрузочной поставки — 67 т.

Отгружаемый заказчику агрегат консервируется, упаковывается и снабжается приспособлениями для подъема, монтажа, а также комплектами запчастей и инструмента.


ТНД


Всасывание
газа
Нагнетание
газа
Выхлоп
пара

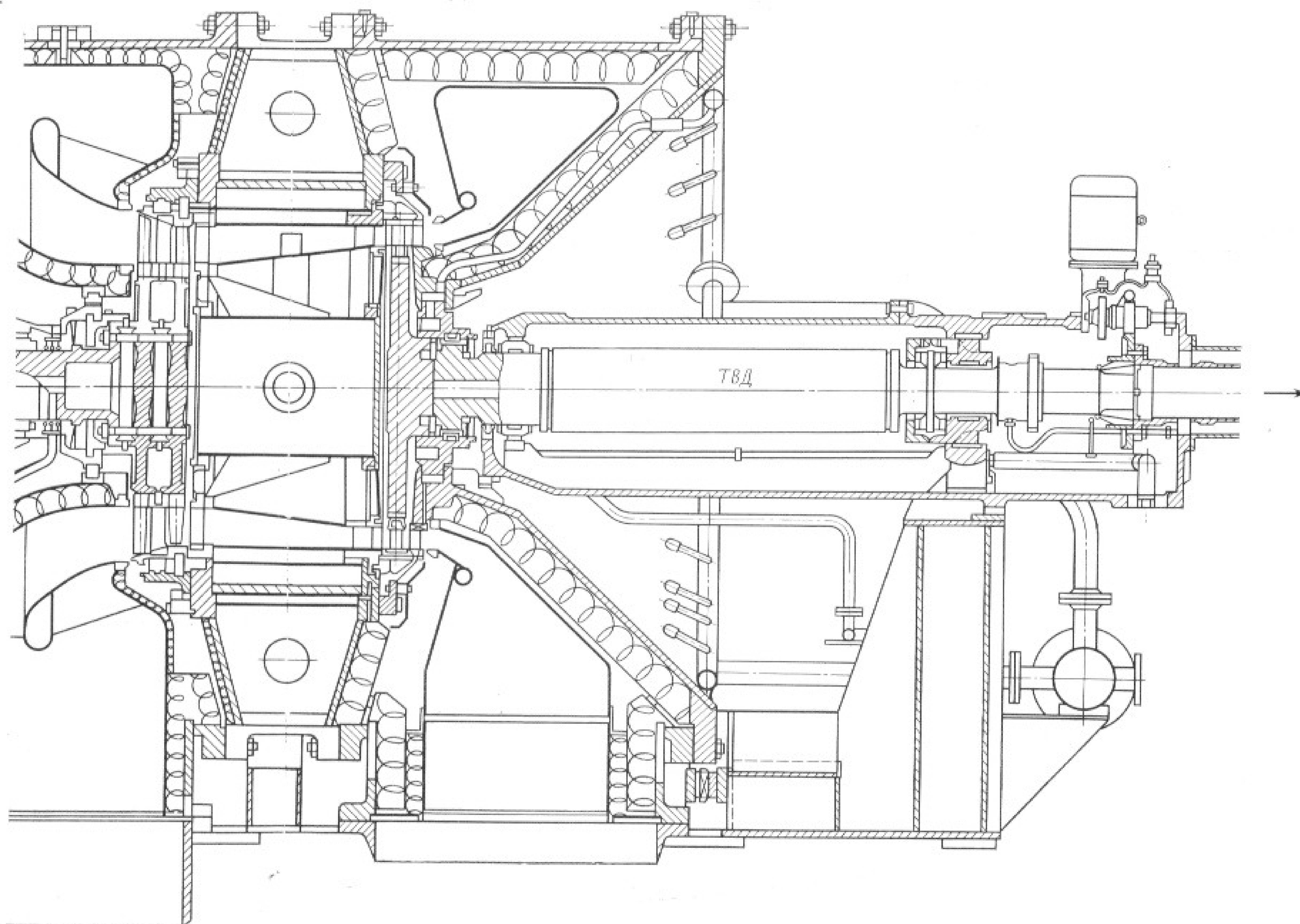


Рис. 14. Продольный разрез турбогруппы блока КМА-2

Рис. 15. Принципиальная тепловая схема КМА-2

После монтажа и проведения пусконаладочных работ агрегат накрывается обшивкой, из-под которой производится отсасывание за пределы машинного зала газов, прорывающихся через уплотнения турбины. Обшивка, кроме того, снижает уровень шума в машинном зале.

Статор агрегата. Турбины высокого и низкого давлений конструктивно объединены в одном корпусе, который имеет внутреннюю тепловую изоляцию и состоит из трех частей: среднего корпуса, корпуса впускной части и корпуса выпускной части.

Средний корпус не имеет горизонтального разъема и служит «поясом жесткости». На внутренние вертикальные фланцы этого корпуса навешиваются и центрируются обоймы сегментов направляющих лопаток турбин, что обеспечивает постоянство расточек статора относительно ротора на всех режимах работы.

Для обеспечения эффективного охлаждения корпуса в его внутренних полостях выполнены экраны, регулирующие направление движения охлаждающего газа, а во внутреннем фланце, на стороне высокого давления, калиброванные отверстия для выпуска этого газа в проточную часть турбины. Изоляция корпуса, расположенная вокруг перепускного коллектора ТВД—ТНД, предохраняется от выдувания металлическим тонкостенным кожухом. Внутренние, особо нагруженные вертикальные фланцы корпуса, изготовлены из кованой хромомолибденовой стали, остальные детали — из листовой высокохромистой стали, фланцы вертикального разъема — литые.

Корпус выпускной части имеет горизонтальный разъем и крепится к среднему корпусу вертикальным фланцем, который для облегчения обслуживания выполнен скошенным. Наружный корпус конструктивно, через вертикальный разъем, объединен с диафрагмой направляющих лопаток ТВД, образующей внутреннюю часть корпуса. На «зеркале» фланцев вертикального разъема (в верхней половине корпуса) имеются кольцевые канавки. После сборки корпусов в эти канавки специальным приспособлением нагнетается уплотняющая мастика для герметизации разъемов турбины. Для уплотнения горизонтального разъема диафрагмы на нем выполнена радиальная канавка, в которую устанавливаются планки, перегораживающие разъем. С этой же целью изнутри корпуса установлены шесть шпилек с гайками, которые необходимо разболтить перед тем, как снимать внутреннюю часть корпуса. После сборки внутренний крепеж должен быть надежно изолирован. Рабочий газ в турбину подводится через впускной фланец корпуса с помощью штуцера. Между фланцем корпуса и штуцером установлена прокладка. Рабочий газ из технологического цикла подводится по трубопроводу, который приваривается к штуцеру и имеет компенсатор для предотвращения деформации патрубка турбины. Диафрагма отлита из хромомолибденованадиевой стали. Для охлаждения в ней выполнены отверстия, по которым пропускается охлаждающий газ.

Корпус выпускной части крепится к среднему корпусу вертикальным фланцем и имеет горизонтальный разъем. На торце корпуса со стороны компрессора имеется вертикальный фланец, на котором крепится корпус среднего подшипника, а также устанавливаются распорные вставки. Выпускной трубопровод крепится к патрубку корпуса с помощью штуцера и должен быть скомпенсирован, чтобы не деформировать патрубок турбины. В соединительном штуцере (ответном фланце) имеются два отверстия для установки термометров, контролирующих температуру выхлопного газа. Корпус изготовлен из листовой высокохромистой стали, фланцы вертикального разъема — литые.

Выпускная и впускная вставки установлены в корпусе турбины с помощью опорных лапок и центрируются шпонками, обеспечивающими на-

правление теплового расширения. Вставки имеют горизонтальный разъем. Вставки на своих воротниках имеют приспособления для центровки их с фланцами турбин. Впускная вставка изготовлена из жаростойкой, а выпускная из окалиностойкой тонколистовой стали.

Обойма направляющих лопаток ТВД состоит из двух сегментных колец. Наружное кольцо установлено на вертикальном внутреннем фланце среднего корпуса на штифтах, а на его ножках вывешены сегменты, образующие проточную часть турбины. В этих сегментах имеются кольцевые канавки, в которые закатываются уплотнительные элементы. С их помощью устанавливаются необходимые зазоры между лопатками и статором. Для исключения протечек газа помимо лопаток турбины зазоры между внутренними сегментами перекрыты планками, а сами сегменты соединяются с фланцем среднего корпуса замком. На торце сегментов (с той же целью) имеются уплотнительные канавки. Рядом с уплотнительными элементами в пазу установлены направляющие лопатки ТВД. Конфигурация паза позволяет лопаткам качаться в осевом направлении.

Второй конец лопатки имеет ограничительную полку с шипом, который входит в паз, имеющийся на головке диафрагмы. Внутренние сегменты и лопатки в них штифтуются для обеспечения равномерных тепловых зазоров. Наружное кольцо сегментов крепится на фланце (кроме штифтов) разрезным прижимным кольцом, которое прибалчивается к корпусу. На это кольцо установлен с помощью дистанционных втулок и шпилек с гайками экран из жаростойкой тонколистовой стали, защищающий сегменты от прямого теплового излучения стенок впускной вставки. Кроме того, экран организует движение охлаждающего газа вдоль сегментов. Наружные сегменты и направляющие лопатки изготовлены из жаропрочного сплава, внутренние сегменты из жаропрочной, а уплотнительные сегменты из жаростойкой стали.

Обойма направляющих лопаток ТНД состоит из литой наружной обоймы, имеющей горизонтальный сбалчиваемый разъем, в которой на ножках вывешено внутреннее сегментное кольцо, образующее проточную часть ТНД. Наружная обойма на шести шпонках отцентрирована в прижимном разрезном кольце, которое, в свою очередь, крепится болтами к вертикальному внутреннему фланцу, причем каждая часть кольца штифтуется к этому фланцу. В сегментах внутреннего кольца в профильном пазу установлены направляющие лопатки ТНД, свободные концы которых скреплены между собой бандажным разрезным кольцом. Бандаж улучшает вибрационные характеристики лопаток и обеспечивает уплотнение радиального зазора между лопатками и ротором ТНД. С этой целью в него зачеканены стальные уплотнительные кольца. Поддержание необходимого зазора между этими уплотнениями и ротором в значительной мере обеспечивает надежную работу агрегата и его производительность. Для обеспечения равномерного теплового зазора лопатки в сегментах и сегменты заштифтованы в определенном порядке. Для исключения протечек газа (помимо лопаток турбины) зазоры между внутренними сегментами (ножками), на которых вывешивается внутреннее кольцо, перекрыты планками. С этой же целью в кольцевом пазу обоймы и сегментов установлено распорное кольцо. Это кольцо, кроме запирания протечек, воспринимает осевое усилие от сил давления на сегментное кольцо. Детали обоймы ТНД изготовлены из жаростойкой высокохромистой стали, направляющие лопатки — из жаропрочной стали.

Перепускной коллектор между ТВД и ТНД установлен в среднем корпусе турбины и центрируется радиальными шпонками. В коллекторе установлены спрямляющие лопатки, один конец которых жестко заделан в коллекторе. Свободные концы лопаток объединены в группы бандажными сегментами, которые придают жесткость и организуют проточную часть турбины. Коллектор своим гребнем прижат к фланцу турбины с помощью замкового кольца, что исключает протечки рабочего газа через гребень. В коллекторе имеется замкнутый объем, куда по трубам подается охлаждающий газ и затем, через калиброванные отверстия в торцевых крышках коллектора, поступает на охлаждение дисков ТВД и ТНД. Со стороны ТНД в кольцах коллектора выполнены пазы, в которые устанавливаются направляющие лопатки, заштифтованные в определенном порядке. Лопатки изготовлены из жаропрочной стали, детали коллектора — из листовой жаростойкой стали.

Корпус компрессора состоит из всасывающей части, обоймы, в которой установлены направляющие лопатки, и нагнетательной камеры. Все эти корпусные детали соединяются между собой вертикальными фланцами и имеют горизонтальный разъем. При ревизиях компрессора вертикальные разъемы обычно не разбираются, а снимается целиком верхняя крышка, что позволяет осмотреть всю проточную часть и подшипниковые узлы. Корпуса изготовлены из чугунного литья и снаружи частично покрыты теплоизоляцией.

Всасывающая часть — чугунная отливка сложной конфигурации, объединяющая входной патрубок, конфузор и корпус опорно-упорного подшипника. Для доступа к подшипнику верхняя половина всасывающей камеры может сниматься. К входному патрубку присоединяется трубопровод, по которому в компрессор засасывается атмосферный воздух. Соединение патрубка с трубопроводом выполнено с помощью компенсатора.

Конфузор всасывающей части образован пространственно-сложными стенками и служит для организации потока воздуха перед лопатками компрессора. На входе в конфузор и в конце его перед лопатками входного направляющего аппарата выполнены отверстия для измерения расхода воздуха через компрессор.

Корпус подшипника конструктивно объединен с конфузором, одной из стенок которого (наружная) является стенка всасывающей камеры, через которую осуществлен подвод к подшипнику и слив из него масла смазки и регулирования. В корпусе также установлен штепсельный разъем для вывода проводов от преобразователей температуры вкладыша и частоты вращения ротора ТНД. Маслозащитное кольцо препятствует вытеканию масла из подшипника. Для исключения попадания масла в проточную часть компрессора на горизонтальном разъеме подшипника выполнены дренажные

канавки, а в полость между бочкой ротора и отбойным кольцом подается воздух. С этой же целью воздух подается в канавки, выполненные на горизонтальном разъеме конфузора.

На крышке подшипника установлен вибропреобразователь и валоповоротное устройство ТНД.

Обойма компрессора выполнена в виде конической трубы, на внутренней поверхности которой имеются профильные канавки для установки направляющих лопаток. В обойме имеются отверстия, через которые осматриваются рабочие лопасти компрессора без его разборки. В средней части обоймы имеется кольцевая камера, соединенная с внутренней полостью компрессора. Из камеры осуществлен отбор воздуха на запирание масла в подшипнике компрессора и, при необходимости, сброс воздуха в атмосферу через восемь противопомпажных клапанов.

Статор компрессора образован 11 ступенями направляющих лопаток, изготовленных из высокохромистой стали. Первый ряд лопаток является входным направляющим аппаратом и служит для организации потока воздуха перед входом на направляющие лопатки 1-й ступени компрессора. Лопатки входного направляющего аппарата (ВНА) — полые, и через них, при опасности обледенения лопаток компрессора, пропускается горячий воздух. Управление подачей воздуха осуществляется вручную. За ВНА установлены 1-я и последующие ступени направляющего аппарата компрессора, из которых первые четыре выполнены пакетами, т. е. часть лопаток в ступени скреплена между собой у хвостовиков, а вершины их соединены бандажами. В канавки бандажей зачеканены уплотнительные кольца. Сегменты у разъема компрессора крепятся винтами. Лопатки остальных ступеней набираются в пазы корпуса поодиночке, последняя лопатка у разъема закрепляется винтом.

Все лопатки, за исключением ВНА, набраны с зазорами между хвостовиками и застопорены кернением для получения равномерного зазора.

Нагнетательная камера компрессора состоит из диффузора, сборной камеры и выходного патрубка с фланцем, к которому крепится ответный фланец трубопровода. В обечайке ответного фланца выполнены отверстия, через которые воздух после компрессора по трубам подается в систему охлаждения агрегата. Камера соединяется с обоймой вертикальными фланцами. С противоположной стороны вертикальный фланец служит для крепления корпуса подшипника ТНД и установки распорных вставок.

Диффузор служит для плавного поворота потока воздуха и частично снижает скорость его движения, за счет чего несколько повышается давление воздуха за компрессором. Диффузор установлен в расточке нагнетательной камеры и крепится в разъеме винтами.

Уплотнительная обойма компрессора установлена на гребне стенки нагнетательной камеры и служит для предотвращения прорыва горячего воздуха на подшипники ТНД и уплотнения зазора между статором и ротором компрессора, что достигается наличием на обойме уплотнительных колец, которые зачеканиваются в канавки обоймы и в сочетании с канавками на роторе образуют ступенчатое многокамерное уплотнение. На роторе, между уплотнениями, выполнена широкая канавка, служащая сборной камерой, из которой протечки сбрасываются по вестовой трубе под обшивку. Центрируется обойма шестью радиальными упорами и стяжными планками в разъеме компрессора. К заднему торцу обоймы крепится кожух, закрывающий часть ротора компрессора.

Подшипники установки. Роторы компрессора и турбин вращаются в подшипниках скольжения, состоящих из корпуса и установленных в них вкладышей.

Корпус подшипника компрессора отлит заодно с всасывающей камерой. В корпусе установлен опорно-упорный вкладыш, который в осевом направлении фиксируется сегментными прокладками, а в радиальном — подушками с центровочными прокладками. Масло к опорной части вкладыша, залитой баббитом, подводится по каналу в стенке корпуса подшипника через одну из подушек. Часть этого масла по канавке на разъеме вкладыша подается к установочным колодкам, которые изготовлены из антифрикционного материала и для удобства обслуживания соединены между собой стопорным кольцом и установлены на упорном кольце. Рабочие колодки расположены по другую сторону упорного диска и имеют увеличенную по сравнению с установочными площадь поверхности. Они воспринимают полное осевое усилие от ротора компрессора при значительной окружной скорости упорного диска ротора, поэтому, для частичной разгрузки колодок упорный диск с этой стороны имеет торцевую площадь большую, чем с другой, и является думмисом. Масло к колодкам подводится по трубам к периферии вкладыша и по отверстиям в колодках подается к трущимся поверхностям. Отверстия в колодках расположены на участках, подверженных наибольшему нагреву. Для организации подвода масла промежутки между колодками перекрыты планками. Сброс масла из этой части вкладыша осуществляется у центра (вдоль ротора) через калиброванные отверстия и через зазор между упорным диском и плавающим кольцом, рабочая поверхность которого залита баббитом. На торце кольца имеются лабиринтные уплотнения. Для эффективной работы думмиса необходим контроль за исправным состоянием уплотнения и зазоров.

Рабочие колодки — стальные и залиты баббитом. Для удобства обслуживания они, также как и установочные, закреплены на упорном кольце. Все колодки вкладыша — самоустанавливающиеся. Внутри подшипника установлены тахопреобразователь и реле осевого сдвига ротора, а снаружи (на крышке) — вибропреобразователь. На крышке подшипника также расположено валоповоротное устройство вала компрессора.

Корпус подшипника ТНД установлен на вертикальных фланцах компрессора и турбины с помощью болтов и штифтов, изготовлен из стального литья. В подшипнике располагается опорный вкладыш ТНД компрессора, трубопроводы смазки и штепсельный разъем термометров сопротивления. На крышке подшипника расположен вибропреобразователь и наварыш, для подсоединения трубы отсоса масляных паров из картера подшипника. Вибропреобразователь находится вблизи горячего

корпуса турбины и для защиты от перегрева помещен в кожух, который охлаждается водой. В расточках корпуса подшипника установлены масляные уплотнения, верхние половины которых закреплены в корпусе винтами и для герметизации могут прижиматься к нижним половинам винтами, установленными в корпусе подшипника.

Вкладыш ТНД установлен в расточке корпуса на четырех подушках с центровочными прокладками и от поворота, как и все остальные вкладыши, фиксируются шайбой, установленной в разъем корпуса. Половины вкладыша штифтуются между собой и скреплены шпильками с гайками, которые шплинтуются. Масло к вкладышу подается по трубе из раздаточного коллектора смазки через сверления в боковой подушке. Слив осуществляется по трубе, имеющей устройство для компенсации осевого расширения агрегата при работе. По краям вкладыша имеются узкие пояски, залитые баббитом, как и рабочая часть вкладыша, и отделенные от нее канавками. В канавках выполнены отверстия, через которые происходит слив масла из вкладыша в картер подшипника.

Корпус подшипника ТВД выполнен из стального литья и установлен на фланцах горизонтального разъема корпуса ТВД с помощью лап и шпонок, фиксирующих осевое положение подшипника. Задняя часть подшипника установлена на раме агрегата с помощью цапф, обеспечивающих свободное тепловое перемещение корпуса. Радиальное положение подшипника фиксируется шпонками. Внутри подшипника располагается опорный и опорно-упорный вкладыши ТВД, трубопроводы смазки и регулирования. Масляное уплотнительное кольцо препятствует вытеканию масла из корпуса наружу. В корпусе располагаются реле осевого сдвига ротора, тахопреобразователь и автомат безопасности. На задней стенке подшипника расположен штепсельный разъем для вывода проводов. На крышке корпуса установлены валоповоротное устройство ТВД и вибропреобразователь, который закрывается кожухом, охлаждаемым водой.

Опорно-упорный вкладыш ТВД, так же как и остальные, имеет рабочую опорную поверхность, залитую баббитом, и два ряда упорных колодок, из которых одни рабочие, другие установочные. Колодки — самоустанавливающиеся, для чего их тыльная сторона выполнена с ребром качания. Это ребро на рабочих и установочных колодках выполнено с разных сторон и устанавливается по маркировке. Масло к вкладышу подается через опорную подушку. Часть масла выжимается в кольцевую канавку на конце вкладыша и сливается в картер, а часть по канавкам на разъеме и зазорам подается к рабочим и установочным колодкам. Колодки изготовлены из антифрикционного материала и объединены в полукольцо. На конце упорной части вкладыша установлено маслозащитное кольцо плавающего типа, внутренняя поверхность которого залита баббитом. Центровка вкладыша в осевом направлении осуществляется сегментными прокладками, прикрепляемыми к вкладышу винтами. Сливается масло из упорной части через калиброванные отверстия, расположенные в верхней половине вкладыша, которые ограничивают расход масла через вкладыш.

Опорный вкладыш ТВД аналогичен описанному и отличается от него только меньшей шириной. Подвод масла к вкладышу ограничивается шайбой, установленной в штуцерном соединении перед вкладышем.

Валоповоротное устройство (ВПУ) предназначено для медленного (с частотой вращения 0,2 c^{-1}) проворачивания ротора, что облегчает страгивание его при пуске и позволяет прослушать агрегат, определить характер и место задевания ротора о статор. ВПУ состоит из двухступенчатого редуктора, электродвигателя переменного тока и механизма включения устройства в работу и отключения его. Первая ступень редуктора имеет большое передаточное отношение и состоит из стального червяка и бронзовой червячной шестерни. Вторая ступень образована цилиндрическими шестернями. Вал электродвигателя соединен с валом червяка эластичной муфтой.

Червяк вращается в двух радиально-упорных подшипниках, которые запрессованы в расточки корпуса. Осевое усилие червяка воспринимается корпусом через наружную обойму подшипника и крышку, приболченную к корпусу. Червячная шестерня насажена на вал и фиксируется шпонкой, гайкой и стопорной шайбой. Вал червячной шестерни вращается в двух радиально-упорных подшипниках.

Цилиндрическая пара образована шестерней-гайкой, расположенной на одном валу с червячным колесом, и ведомой шестерней, находящейся на роторе агрегата. Шестерня-гайка может перемещаться вдоль оси вала по двум винтовым выступам прямоугольной формы. При перемещении она входит в зацепление (или выходит из зацепления) с ведомой шестерней. В крайнем положении шестерня-гайка фиксируется штырем с пружиной.

При включении электродвигателя вал червячного колеса ввинчивается в шестерню-гайку и перемещает ее до зацепления с ведомой шестерней. В крайнем положении шестерня упирается в выступ на валу и через шарнирный рычаг и рукоятку, выведенную наружу из корпуса ВПУ, вызывает срабатывание контактов конечного микропереключателя. Ротор агрегата, соединенный с ведомой шестерней, начинает вращаться. После выполнения предпусковых операций и пуска турбины частота вращения ротора начинает повышаться и шестерня-гайка, навинчиваясь на вал червяка в обратную сторону, выходит из зацепления с ведомой шестерней. При этом рукоятка освобождает контакты микропереключателя и происходит реверсирование электродвигателя, что помогает вывести шестерню из зацепления. В крайнем положении рычага замыкается вторая пара контактов микропереключателя и электродвигатель выключается. Масло для смазки червячной пары подается по трубе от пускового насоса через штуцерное соединение на крышке корпуса ВПУ и коллектор, установленный над червячной шестерней. Цилиндрическая шестерня и подшипники смазываются разбрызгиванием. На крышке корпуса расположен штуцер для трубы отсоса масляных паров.

Роторы агрегата. Ротор ТВД состоит из вала с двумя опорными шейками и упорным диском и насаженного на его консольную часть одновенечного диска с рабочими лопатками. Диск к

валу крепится с помощью радиальных штифтов. Поверх штифтов, предохраняя их от выпадения, напрессована втулка лабиринтовых уплотнений, в которую зачеканены уплотнительные кольца. Рядом со втулкой в валу имеются радиальные отверстия, образующие центробежное колесо (крылатку). Рядом с опорной шейкой вала выполнены маслоотбойные кольцевые выступы, которые вместе с маслозащитным кольцом в корпусе подшипника предотвращают протечки масла наружу. Возле упорного диска расположен гребень для установки реле осевого сдвига, отверстие для установки автомата безопасности. На утолщении вала насажено зубчатое колесо для установки тахопреобразователя. На конец вала насажена зубчатая полумуфта, зафиксированная штифтом и винтом. Для балансировки ротора на бочке и на торце диска имеются канавки, в которые устанавливаются балансировочные грузы.

Рабочие лопатки установлены в пазах диска и стопорятся от осевого смещения буртом и стопорной планкой. После стопорения лопатки должны свободно покачиваться в тангенциальном направлении и не иметь люфта в осевом. На вершине лопатки (с торца) выполнены углубления, разделенные перемычками (сотовые уплотнения), что предохраняет лопатку от разрушения в случае задевания ее о статор и позволяет уменьшить радиальный зазор между ротором и статором. Лопатка имеет удлиненную ножку, что снижает подвод тепла к лопатке и в диск ТВД. На ножке со стороны входа имеется кольцевой выступ, который в сочетании с выступом на диафрагме образует уплотнение, предотвращающее протечки рабочего газа к центру диска. Такое же назначение имеет кольцевой выступ с другой стороны лопатки. Все это позволяет применить для диска ТВД технологическую и сравнительно дешевую перлитную сталь, несмотря на высокую температуру газа перед турбиной. Вал ротора — цельнокованый из теплоустойчивой перлитной стали. Лопатки изготовлены штамповкой с последующей механической обработкой и точной шлифовкой из высоколегированного жаропрочного сплава.

Ротор компрессора (ТНД) — составной. Он состоит из барабана, пробки, уплотнительной втулки и двух дисков с рабочими лопатками. Пробка запрессована в расточку барабана и зафиксирована радиальными штифтами, которые стопорятся от выпадания. На пробке имеются упорный диск и диск установки реле осевого сдвига. На конце пробки насажена зубчатая муфта. Уплотнительная втулка напрессована на бочку и зафиксирована двумя рядами радиальных штифтов. Втулка касается вала только двумя узкими поясками, что уменьшает отвод тепла в ротор. Это особенно важно при появлении задеваний в уплотнениях, так как предотвращает искривление ротора. Втулка выполнена бóльшим диаметром, чем остальная часть бочки, и служит воздушным поршнем (думмисом), что позволяет несколько снизить осевое усилие ротора компрессора, действующее на упорный подшипник. Барабан — пустотелый, на его наружной поверхности выполнены профильные пазы для установки десяти рядов рабочих лопаток компрессора. Возле каждого паза имеется выемка, через которую заводятся лопатки, после чего в выемку устанавливается замковая вставка, крепящая последнюю замковую лопатку. Перед установкой замковой лопатки необходимо проверить натяг между лопатками и при необходимости припилить торцы хвостов лопаток.

Вставка закрепляется клином и винтами. Соединение лопатка — вставка — клин тщательно пригоняется друг к другу и к пазу в роторе, поэтому замена их при ремонте не рекомендуется. На конце барабана, под козырьком уплотнительной втулки, выполнены отверстия, через которые воздух из компрессора поступает внутрь барабана и затем на охлаждение диска ТНД. На концах барабана имеются кольцевые канавки для установки балансировочных грузов. Для более точной балансировки ротора имеются резьбовые отверстия, куда могут устанавливаться грузы. Шейки ротора ограничены маслоотбойными кольцевыми выступами, которые вместе с масляными уплотнениями в подшипниках предотвращают протечки масла из корпуса.

Два диска турбины крепятся к воротнику барабана при помощи стяжных болтов и гаек, которые стопорятся винтами. Крутящий момент передается радиальными штифтами, установленными между дисками и валом. На ободе дисков имеются пазы елочной формы, в которые устанавливаются рабочие лопатки ТНД. Лопатки от осевого смещения фиксируются стопорами, установленными между лопатками, последняя лопатка стопорится винтом. После стопорения все лопатки должны свободно покачиваться в тангенциальном направлении. На торцах дисков, у обода, выполнены кольцевые выступы для снятия металла при балансировке дисков.

Зубчатые муфты служат для передачи крутящего момента от ТВД ротору нагнетателя и от ротора паровой турбины ротору ТНД. Внутренние зубчатые втулки имеют бочкообразные зубья, что допускает некоторую расцентровку соединяемых роторов. Допускаемая расцентровка замеряется с помощью приспособления, поставляемого с агрегатом. Смазка муфт осуществляется маслом из системы смазки, которое подводится специальными трубками непосредственно к зубчатым соединениям.

Выступающие наружу валы муфт закрыты кожухами. В кожухах установлены уплотнительные кольца, снаружи имеются маслоуловительные карманы с дренажными трубками.

Муфта между ТВД и нагнетателем состоит из двух зубчатых втулок, насаженных на вал ТВД, и нагнетателя, промежуточного вала и двух их обойм. Обоймы имеют внутренний зубчатый венец и фланец, которым они прибалчиваются к фланцам промежуточного вала. Со стороны турбины обойма выполнена заодно с ведомой шестерней валоповоротного устройства.

Муфта между паровой турбиной и компрессором состоит из двух зубчатых втулок, насаженных на вал паровой турбины и компрессора и закрепленных винтами, промежуточного вала и двух обойм. Зубчатые втулки унифицированы и отличаются наличием на втулке паровой турбины внутренней проточки. При установке на вал проточка располагается с внутренней стороны. Обоймы имеют внутренний зубчатый венец, который снаружи ог-

раничен канавкой для установки уплотнительных и стопорных колец, а изнутри — канавкой с отверстиями для слива масла. Обойма паровой турбины прибалчивается к фланцу промежуточного вала призонными болтами и гайками. Обойма компрессора выполнена заодно с промежуточным валом. На ее наружной поверхности выполнены зубья для установки тахопреобразователя, а также зубья ведомой шестерни валоповоротного устройства.,

Промежуточный вал выполнен из двух частей, и затяжка его крепежа производится тарированным усилием во избежание прогиба и биения вала в работе.

Рама агрегата служит основанием для сборки всего турбоблока и установки его на фундамент. Турбина и компрессор своими лапами устанавливаются на стойках рамы с помощью прокладок, закрепленных на стойках. В лапах корпуса ТВД имеется паз, в который входит установочная прокладка, являющаяся поперечной шпонкой. Таким образом, стойка ТВД является фикспунктом агрегата в осевом направлении. Лапы остальных корпусов — гладкие и могут скользить по стойкам во всех направлениях. Фиксация продольного положения агрегата обеспечивается системой вертикальных шпонок. Для обеспечения свободного теплового расширения корпусов отверстия в опорных лапах выполнены значительно большими, чем диаметр болтов, а под головки болтов с зазором установлены дистанционные шайбы.

На задних стойках рамы с помощью пружинных захватов устанавливается корпус подшипника ТВД, который фиксируется в поперечном направлении шпонкой. Каркас рамы для повышения жесткости выполнен из труб, которые одновременно являются и трубопроводами смазки.

Для подъема рам предусмотрены грузозахватные устройства, которые после строповки рам должны быть застопорены. Подъем рамы ведется с использованием предусмотренного для этой цели приспособления. Рама к фундаменту крепится фундаментными стяжками, проходящими через отверстие в нижнем листе рамы и в фундаменте. После окончательной установки всего агрегата рама заливается бетоном. На раме выполнено восемь реперных площадок для установки гидростатического уровня при сборке и монтаже агрегата. Для установки рамы используются клиновые прокладки, которые после окончательной выверки положения агрегата по гидроуровню скрепляются сваркой между собой и с опорными поверхностями рамы и фундамента.

Изоляция агрегата предназначена для понижения температуры наружных корпусов турбины и компрессора. Изоляция корпуса ТВД выполнена простеганными матами, которые крепятся к стенам штырями с шайбами и покрываются высокотемпературной тканью и сеткой. У разъемов турбины маты заделываются металлическими листами, зазоры по разъемам уплотняются изоляционными жгутами. Изоляция корпуса в местах установки внутреннего крепежа выполнена съемными матами.

Изоляция среднего корпуса на боковых поверхностях выполнена аналогично впускной части. Внутренняя часть корпуса, вблизи которой расположен впускной коллектор ТВД — ТНД, изолирована также простеганными матами с тканью и сеткой, укрепленными на штырях. Для большей надежности эта изоляция дополнительно накрывается кожухом, состоящим из тонкостенных металлических листов. Листы в местах стыков собираются в замок, а к корпусу крепятся с помощью прижимных пластин, что позволяет кожуху свободно расширяться. В листах выполнены отверстия, предохраняющие кожух от деформации при резком сбросе давления во время остановов агрегата.

Изоляция корпуса ТНД выполнена минераловатным высокотемпературным материалом, который набивается в зазор, образованный наружным корпусом ТНД и выпускной вставкой. У разъема корпуса изоляция заделывается сеткой и тонкостенными стальными листами. Для большей надежности по разъему укладывается изоляционный жгут.

Масляная система. Подшипники и система регулирования и защиты агрегата обеспечиваются маслом из общей маслосистемы. Конструктивно маслопровод агрегата выполнен из труб, изготовленных заодно с фундаментной рамой, и по ним осуществляется слив масла из подшипников в масляный бак, а также отсос масляных паров из картеров подшипников. В одной из двух труб установлена главная напорная труба, из которой масло раздается на смазку подшипников. Это исключает попадание масла на горячие части турбоагрегата в случае разрыва напорного трубопровода. С этой же целью труба подвода масла к подшипнику ТВД выполнена в сливном трубопроводе. Для компенсации тепловых расширений напорные трубопроводы установлены в сливных трубопроводах с помощью резиновых уплотнительных колец и специальных фиксаторов.

В корпусе подшипника ТВД маслораздающая труба установлена на резиновых уплотнительных кольцах и соединяется с напорной трубой компенсирующей перепускной втулкой. Втулка и труба фиксируются от смещения упорами. Масло на смазку зубчатой муфты ТВД подается через сопло, положение которого меняют, подгибая трубку, при этом масло попадает в зазор между ротором ТВД и обоймой муфты.

В корпусе переднего подшипника компрессора маслораздающая труба установлена в расточке корпуса с помощью резинового уплотнительного кольца. Второй конец трубы имеет опорный фланец и соединен с корпусом подшипника болтами.

Смазка валоповоротного устройства осуществляется от масляного насоса, который после запуска агрегата и включения в работу главного масляного насоса отключается. Это позволяет уменьшить общий расход масла при работе агрегата и в случае повреждения трубопровода смазки валоповоротное устройство исключает попадание масла на горячие корпуса турбины.

Система охлаждения. Для охлаждения узлов агрегата, а также для запирания концевых уплотнений турбины и нагнетателя предусмотрены два независимых контура охлаждения, условно называемых воздушным и газовым. Основная часть вспомогательного трубопровода смонтирована на раме агрегата и оборудована устройствами для контроля за температурой и давлением охлаждаю-

щего газа и воздуха, и регулирования расходов. Другая часть трубопроводов монтируется непосредственно на месте установки агрегата.

Воздушный контур образован трубами и отверстиями в деталях агрегата, по которым подается воздух из осевого компрессора. Через радиальные отверстия в бочке ротора воздух поступает через перепускную теплоизолирующую втулку и систему отверстий в деталях ротора на охлаждение дисков ТНД и запирание радиального зазора между ротором и направляющими лопатками ТНД. Для предотвращения попадания в ротор посторонних предметов отверстия в бочке ротора прикрыты козырьком лабиринтной втулки. Другая часть воздуха из нагнетания компрессора по трубам подается к уплотнениям ротора ТВД и нагнетателя для запирания протечек технологического газа в машинном зале. Из этого трубопровода воздух через регулирующий вентиль подается также к эжектору масляных паров. По отдельному трубопроводу этот воздух может подаваться на обогрев лопаток ВНА. Воздух низкого давления после 4-й ступени компрессора по трубе подается в зазор между бочкой ротора и отбойным кольцом в блоке переднего подшипника, а по другой трубе — в глухую канавку, выполненную на разъеме всасывающей камеры компрессора для исключения попадания масла из переднего подшипника в проточную часть.

Газовый контур системы охлаждения образован коррозионно-стойкими трубами. Направление потоков охлаждающего газа регулируется системой коррозионно-устойчивых обратных клапанов. Часть газа по трубам подается на запирание внутренних камер концевых уплотнений нагнетателя. Для обеспечения надежной работы деталей турбины необходимо при пусконаладке агрегата тщательно отрегулировать раздачу охлаждающего газа в коллекторы высокого и низкого давлений регулирующими устройствами в технологическом цикле, а также регулятором тонкой настройки на коллекторе низкого давления. Недостаток охлаждения может привести к перегреву деталей турбины и выходу их из строя. При избыточном охлаждении большие массы холодного воздуха, попадая в проточную часть турбины, могут вызвать значительные изменения температурных и скоростных характеристик рабочего газа и падение мощности агрегата.

Внутри газовой трубины охлаждающий газ высокого давления из коллектора, образованного стенками среднего корпуса, через сверления во внутреннем фланце, поступает в кольцевой зазор между экраном и сегментами ТВД и сбрасывается в проточную часть турбины перед направляющими лопатками ТВД. Другая, меньшая часть этого газа, подается в кольцевую проточку сегментов ТВД, дополнительно запирая протечки рабочего газа вдоль сегментов. Охлаждающий газ низкого давления из своего коллектора подается в кольцевой канал диафрагмы, откуда по сверлениям в уплотнительной обойме поступает на охлаждение диска, а по сверлениям в приливах и фланцах разъема диафрагмы и кольцевому каналу — на охлаждение периферийной части диафрагмы. Из кольцевого канала газ по многочисленным отверстиям в оголовке диафрагмы поступает в камеру, образованную уплотнительными выступами на лопатке ТВД и диафрагме, охлаждает гребень диска и запирает протечки горячего (рабочего) газа вдоль диска ТВД.

Во время пуска и останова агрегата в систему охлаждения подается воздух от постороннего источника и направляется для работы эжектора отсоса масляных паров, запирания уплотнений газовой турбины и нагнетателя, на вентиляцию полостей газовой турбины. Цеховой воздух должен быть очищен и осушен, так как при наличии в нем влаги может произойти обводнение масла смазки. При попадании воды на горячие детали во время останова агрегата происходит их коробление и образование трещин, кроме того, влажный воздух вызовет конденсацию паров азотной кислоты, содержащихся в рабочем и охлаждающем газах, и интенсивную коррозию внутренних полостей турбины. Для исключения этого перед пуском агрегата система цехового воздуха должна быть тщательно продута, а при работе агрегата включена продувка цехового воздуха и специального конденсатосборника, предусмотренного в системе охлаждения, в уплотнение нагнетателя.

Таблица 2

Газотурбинные установки зарубежных фирм для привода генераторов

Название модели	Год ввода в эксплуатацию	Базовая мощность*, кВт	Удельный расход тепла**, ккал/кВт·ч	Пиковая мощность***, кВт	Удельный расход тепла**, ккал/кВт·ч	Степень повышения давления в компрессоре	Расход воздуха при пиковой нагрузке, кг/с	Скорость вращения турбины, об/мин	Температура в пиковом режиме, °С		Сухая масса, кг	Габаритные размеры, м			Примечание
									на входе в турбину	на выходе из турбины		длина	ширина	высота	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
БЕЛЬГИЯ															
ACEC															
W-251	1979	38 160	2910	41 510	2855	10	163,5	5 000	1060	518	15 400	39,16	12,2	76	Установки частой 50 Гц на газообразном топливе
W-1101	1979	92 980	2885	100 430	2860	12	394	3 000	1130	551	33 100	39,6	15,2	122	
ФРГ															
AEG — KANIS TURBINENFABRIK															
G 7981	1977	75 000	2665	—	—	11,5	268	3 600	1085	525	266 000	21,3	8,8	3,9	
PG 7981	1976	72 900	2715	78 800	2710	11,5	266	3 600	1140	563	485 000	40,3	21,6	9,4	
G 9141	1976	105 000	2720	—	—	9,6	345	3 000	1068	512	295 000	25,3	4,6	5,8	50 Гц
PG 9141	1976	102 700	2750	111 300	2735	9,6	341	3 000	1128	549	64 700	42,6	14,6	11,6	Компактная установка
LM 2500	1979	20 100	—	—	—	18,0	65,4	3 600	1185	504	100 000	16,1	3,42	3,81	
PG 6441	1978	34 100	2840	36 900	2835	11,5	132,5	5 105	1140	560	318 000	37,5	7,3	10,4	
KLOCKNER HUMBOLDT — DEUTZ															
Super TF 35	1976	2 550	3260	3 000	3205	7,6	11,8	14 630	1000	579	675	1,2	0,9	1,07	
Super TF 40	1976	2 950	3240	3 312	3215	8,4	12,7	14 630	1060	610	675	1,2	0,9	1,07	
M1990	1978	3 960	3040	4 175	—	12,0	19,5	7 200	1037	471	3 180	3,4	1,2	1,2	
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ															
CENTRAX GAS TURBINES															
Type 19H	1974	500	5290	550	4980	5,2	4,99	22 000	880	550	6 100	4,6	1,5	5,8	На дистиллятном топливе
Type 74S	1977	500	5280	550	5040	5,3	4,99	22 000	880	550	5 080	3,9	1,2	1,8	
Type 74SZ	1977	560	5410	630	5170	6,3	5,45	22 000	880	535	5 080	3,9	1,2	1,8	

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
GEC GAS TURBINES															
EM 610	1975	63 700	3030	69 200	2990	8,2	287	3000	1015	563	163 500	14,3	3,9	4,6	
EAS-134	1975	12 780	3285	15 960	3120	9,8	81,6	6500	976	489	20 400	7,3	3,4	3,0	Газификатор AVON 1534
EAS-135/1	1977	13 970	3260	17 020	3130	9,5	81,6	6500	998	508	20 400	7,3	3,4	3,0	Газификатор AVON 1535
EAS-135/2	1979	14 190	3215	17 560	3035	9,5	81,6	6500	998	502	20 400	7,3	3,4	3,0	»
ESP-1	1980	11 200	2720	13 230	2625	—	—	6500	—	—	21 800	4,9	3,4	3,0	Газификатор Spey
ERB-124	1980	20 350	2640	22 600	2585	20,0	—	6500	—	—	23 600	6,7	3,4	3,0	Газификатор Spey RB-211-24B
ELM-125/2	1979	18 820	2510	20 650	2495	17,2	64,9	6500	—	505	21 300	5,5	3,4	3,0	Газификатор LM2500
ELM-125/6	1978	20 060	2380	21 890	2375	17,2	65,4	3000/3600	—	494	21 300	5,5	3,4	3,0	
ELM-150/2	1979	31 000	2375	36 090	2340	30,0	123,4	3000/3600	—	392	28 600	8,8	3,4	3,4	Газификатор LM5000
DELM-150	1979	62 000	2375	72 180	2340	30,0	246,5	3000/3600	—	392	240 000	25,9	3,9	3,9	Масса и габаритные размеры с генератором
DEO-2	1976	58 800	3340	8 200	3100	10,4	439	3000/3600	946	479	279 500	29,9	7,0	3,7	4 OLYMPUS B, 2 силовые турбины
JOHN BROWN ENGINEERING GAS TURBINES															
G 6441A	1978	32 450	2810	—	—	—	138	5100	1010	482	318 000	40,2	7,3	10,4	Компактная установка
PG 6441A	1978	31 750	2840	34 750	2825	11,5	136,5	5100	1010	485	318 000	40,2	7,3	10,4	
G 7101E	1976	76 400	2650	—	—	11,5	274	3600	1088	525	266 500	21,3	8,8	3,9	
PG 7101E	1976	74 400	2605	80 500	2680	11,5	272	3600	1088	527	486 000	40,2	21,6	9,4	
G 9141E	1979	107 500	2680	—	—	11,4	398	3000	1070	512	647 000	42,7	14,6	11,6	
PG 9141E	1979	104 500	2730	113 300	2720	11,6	394	3 000	1070	515	864 000	35,1	23,5	11,9	Компактная установка
LM2500	1978	20 100	—	—	—	17,0	67,2	3 600	1149	516	246 000	8,5	2,7	3,7	То же
NOEL PENNY TURBINES															
NRT 403	1976	294	5040	318	4900	5,9	2,25	1500/3600	935	582	152	1,37	0,43	0,43	
NPT 603	1979	455	4160	492	4110	5,2	2,45	1500/3600	971	685	204	1,34	0,43	0,43	
ROLLS-ROYCE INDUSTRIAL AND MARINE															
Spey	1976	11 900	2580	13 800	2530	19,0	58,1	—	—	—	1 475	2,7	1,2	1,5	
Avon 1535	1976	16 300	2970	18 200	2910	10,0	82,1	—	—	—	1 620	3,5	0,9	0,9	

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
RB 211	1978	23 800	2480	25 300	2450	19,4	93,8	—	—	—	2 600	3,0	1,5	1,5	
OLYMPUS	1975	26 100	2785	28 000	2760	11,0	109	—	—	—	2 100	3,7	1,1	1,1	
SK 30	1977	26 100	2785	28 000	2760	—	—	3000/3600	—	530	2 100	3,7	1,1	1,1	
SK 60	1977	52 200	2785	56 000	2760	—	—	3000/3600	—	530	234 000	23,2	4,3	16,2	
RUSTON GAS TURBINES															
TA 2500	1978	1 764	4290	—	—	4,9	12,7	1500/1800	854	504	9 090	5,8	2,4	2,6	
TB 5000	1977	3 456	3570	—	—	7,0	20,9	1500/1800	882	490	13 600	5,8	2,4	2,4	
ШВЕЙЦАРИЯ SULZER BROTHERS															
Type 3	1976	5 040	3350	—	—	8,1	28,1	10 000	955	493	27 200	7,3	3,0	2,7	
Type R3	1976	4 900	2740	—	—	8,3	28,1	10 000	955	495	27 200	7,3	3,0	2,7	
Type PRIMO 12	1978	11 600	3260	—	—	8,8	75,8	6 500	—	403	28 100	12,1	4,3	3,9	Газогенератор AVON 1533
Type PRIMO 14	1978	13 000	3200	—	—	8,8	75,8	6 500	—	440	28 100	12,1	4,3	3,9	Газогенератор AVON 1534
Type PRIMO 15	1978	14 150	3190	—	—	9,0	76,7	6 500	—	465	28 100	12,1	4,3	3,9	Газогенератор AVON 1535
НИДЕРЛАНДЫ THOMASSEN HOLLAND															
G 6441	1979	32 450	2810	—	—	—	138	5 100	1010	482	91 600	—	—	—	
PG 6441	1979	31 750	2840	34 750	2825	—	136,5	5 100	1065	519	318 000	37,5	7,3	10,4	Компактная установка
G 7101	1979	76 400	2650	—	—	11,5	274	3 600	1088	525	268 000	21,3	8,8	3,9	
PG 7101	1979	74 400	2695	80 500	2680	11,5	272	3 600	1140	563	485 000	40,2	21,6	9,4	
G 9141	1979	107 500	2680	—	—	9,6	397	3 000	1070	511	295 000	25,3	4,6	5,8	
PG 9141	1979	104 500	2730	113 300	2720	9,6	394	3 000	1128	549	646 000	42,7	14,6	11,6	
ЯПОНИЯ HITACHI															
G 6441	1981	31 800	2835	—	—	11,0	138	5 103	—	—	181 500	22,3	3,4	3,7	
G 7981	1981	74 290	2700	80 300	2690	11,5	268	3 600	1140	559	266 000	21,3	8,8	4,3	
G 9111	1980	85 200	2770	94 400	2740	9,6	345	3 000	1065	546	295 000	25,3	4,6	5,8	

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PG 6441	1981	31 100	2865	34 000	2850	11,0	136,5	5 105	1065	519	318 000	37,8	7,3	10,4	
PG 7981	1981	72 900	2720	78 800	2710	11,5	265	3 600	1140	562	485 000	40,5	21,6	9,4	
PG 9111	1980	82 600	2825	91 600	2795	9,6	341	3 000	1065	549	646 000	42,7	14,6	10,4	
ISHIKAWAJIMA — HARIMA HEAVY INDUSTRIES															
IM400	1979	3 066	3235	3 713	3075	9,3	15	13 820	982	510	576	2,3	0,6	0,8	
IM2500	1976	19 200	2505	—	—	17,0	65,0	3000/3600	1175	500	4 700	6,5	2,1	2,1	
Type 3	1977	5 040	3350	5 130	3235	8,1	27,7	10 000	955	493	27 000	7,4	3,1	2,7	
Type 7	1976	10 050	3580	10 500	3430	7,5	62,2	6 400	92,5	483	65 000	12	3,6	3,8	
IM5000	1978	35 500	2345	—	—	29	137	3000/3600	1160	—	34 500	8,7	3,5	3,5	Сдвоенная установка
KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES															
S1A-01	1977	—	—	150	5320	8,0	1,5	1500/1800	—	550	320	0,9	0,8	0,8	
S1A-02	1978	160	5590	180	5320	9,0	1,82	1500/1800	—	540	320	0,9	0,8	0,8	
SIT-02	1978	310	5670	350	5330	9,0	3,5	1500/1800	—	540	530	1,2	1,0	1,1	
S2A-01	1979	560	4620	600	4490	9,0	4,82	1500/1800	—	540	1 300	1,6	1,1	1,2	
M1A-01	1978	900	4440	1 000	4390	8,0	7,69	1500/1800	—	550	2 450	2,1	1,1	1,4	
M1T-01	1979	1 700	4410	2 000	4260	8,0	15,4	1500/1800	—	550	4 100	2,2	2,0	1,6	
Super KTF 25	1977	1 400	4820	1 600	4440	6,5	9,4	1500/1800	965	580	610	1,3	0,9	1,1	
Super KTF 35	1977	2 000	3780	2 400	3630	7,6	12	1500/1800	995	610	670	1,3	0,9	1,1	
SK 30	1977	23 500	2820	28 000	2760	2760	—	3000/3600	—	530	216 000	24,1	16,2	16,2	Компактная установка
SK 60	1977	47 000	2820	56 000	2760	—	—	3000/3600	—	530	422 000	39	16,2	16,2	
MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES															
MW-501D	1980	99 870	2635	107 900	2620	14,0	354	3 600	—	554	143 000	11,6	5,7	4,4	
MW-701B	1976	90 830	2810	97 780	2785	11,0	392	3 000	—	502	170 000	12,5	5,2	5,2	
MW-701D	1980	121 800	2685	130 400	2660	14,0	441	3 000	—	553	170 000	12,5	5,2	5,2	

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MITSUI ENGINERING AND SHIPBUILDING															
SB-60C	1977	11 600	3280	12 860	3215	9,4	53,1	6650	1060	573	31 700	8,5	3	6	Вес включает базовую плиту и вспомогательное оборудование
НОРВЕГИЯ															
KVAERNER BRUG															
G 6001	1979	31 800	2835	33 300	—	11,5	136	5100	1065	519	—	—	—	—	
G 9001	1979	105 600	2700	114 000	2735	9,6	394	3000	1129	549	295 000	25,3	4,6	5,8	50 Гц
PG 9001	1979	102 700	2750	111 300	2735	9,6	394	3000	1128	549	—	—	—	—	
LM 2500	1978	20 100	—	—	—	17,0	65,4	3600	—	—	100 000	15,2	3,4	4,3	
LM 2500	1978	197 300	—	—	—	17,0	65,4	3000	—	—	100 000	15,2	3,4	4,3	50 Гц
KONGSBERG GAS TURBINES AND POWER SYSTEMS															
KG 5	1976	2 960	3680	3 260	3655	6,3	20,9	1500/1800	—	494	3 760	3,7	1,9	2,2	Габаритные размеры и масса не включают масляный бак
KG 831	1976	515	4210	600	3955	11,0	3,5	1500/1800	—	535	770	1,6	1,0	0,9	
ФРАНЦИЯ															
TURBOMECA															
BI BASTAN VI	1978	1 160	4520	1 295	4300	5,7	9,16	1500/1800	870	535	1 400	2,1	1,2	0,9	
BI BASTAN VII	1978	1 540	3960	1 720	4850	6,7	13,6	1500/1800	800	485	1 450	2,4	1,2	0,9	
ALSTHOM — ATLANTIQUE															
G 9111	1976	85 200	2770	94 400	2735	—	345	3000	1065	543	—	—	—	—	50 Гц
PG 9111	1976	83 300	2815	92 300	27805	—	345	3000	1065	543	—	—	—	—	Компактная установка частотой 50 Гц
G 7981	1977	73 200	2655	78 900	2640	11,5	268	3600	1140	557	26 600	21,3	8,8	3,9	
PG 7981	1976	71 600	2685	77 000	2680	11,5	268	3600	1140	560	485 000	40,3	21,6	9,4	
PG 6431	1978	34 140	2840	36 900	2835	11,5	132,5	5705	1140	560	31 800	37,5	7,3	10,4	
PG 9141	1978	104 500	2730	113 300	2715	11,0	236	3000	1068	515	—	37,5	7,3	10,4	
HISPANO — SUIZA															
THM1103	1979	4 800	3740	—	—	6,9	28,6	8000	905	505	7 000	8,2	2,4	3,2	Размеры с базовой плитой с вспомогательным оборудованием без глушителя и регенератора
THM1103R	1979	4 620	2870	—	—	6,9	28,6	8000	905	515	7 000	8,2	2,4	3,2	
THM1304	1978	8 100	3190	—	—	9,1	41,7	8000	950	470	10 500	9,2	2,4	3,2	
THM1304R	1978	7 830	2690	—	—	9,1	41,7	8000	950	480	10 500	9,2	2,4	3,2	

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ИЗРАИЛЬ															
BET — SHEMESH ENGINES															
M2TL	1971	750	5940	790	5840	3,8	7,7	17 900	757	525	279	2,1	0,6	0,9	Встроенный редуктор
M5TL	1980	960	3905	1 040	3780	5,5	5,9	21 200	916	549	409	2,4	0,73	0,73	
ИТАЛИЯ															
NUOVO PIGNONE															
MS 6001	1979	31 050	2830	34 000	2875	11,5	127	5100	1065	511	318 000	40,2	7,3	10,3	
MS 9001	1976	85 200	2770	94 400	2740	9,5	345	3000	1065	543	295 000	25,3	4,6	5,8	
КАНАДА															
PRATT AND WHITNEY AIRCRAFT CANADA															
SFTMC-3F	1976	29 820	2740	32 180	2710	13,8	139	3600	1075	470	13 900	8,2	3,0	5,2	
Pand WS	1978	59 950	2730	64 700	2695	13,8	277	2600	1075	470	360	31,1	6,1	12,2	
WESTINGHOUSE CANADA															
W 191 PG Super	1980	19 250	3260	—	—	8,6	134,5	4912	788	403	—	—	—	—	Турбонаддув
W 301 PG Super	1978	35 125	3180	—	—	5	218	3600	788	419	106 900	13,4	4,3	4,6	
США															
NORTH AMERICAN TURBINE CORP.															
KG 5	1976	2 960	3680	3 260	3655	6,3	20,9	1500/1800	—	494	3 760	3,7	1,9	2,2	
KG 831	1976	515	4220	600	3960	11,0	3,5	1500/1800	—	535	770	1,6	1,0	0,9	
TURBINES HISPANO OGASCO															
THM 1304	1978	7 800	3220	—	—	9,6	43,1	7 600	900	480	22 700	7,6	2,4	3,4	Тепловая мощность с регенератором
THM 1304R	1978	6 850	2925	—	—	9,6	43,1	7 600	900	487	22 700	7,6	2,4	3,4	
WESTINGHOUSE ELECTRIC COMBUSTION TURBINE SYSTEMS															
W501D 60Hz	1975	92 240	2785	99 660	2770	12,9	375	3 600	1149[1]	586	757 000	34,8	11,6	12,2	Компактная установка
W1101C 50Hz	1975	88 410	2860	95 360	2835	12,0	369	3 000	1105[1]	538	956 000	46	21,6	70	То же
AVCO INDUSTRIAL ENGINE OPERATION															
Super TF 25	1976	1 835	3790	2 163	3720	6,5	10	13 750	970	599	672	1,2	0,9	1,07	
Super TF 35	1976	2 550	3260	3 000	3200	7,6	11,35	14 630	1000	579	704	1,2	0,9	1,07	
Super TF 40	1976	2 950	3240	3 312	3210	8,4	12,7	14 630	1060	610	635	—	—	—	

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
GENERAL ELECTRIC GT DIV.															
G 7981	1977	75 000	2665	—	—	11,5	268	3 600	1085	525	266 000	21,3	8,8	3,9	
PG 7981	1976	72 900	2720	78 800	2710	11,5	266	3 600	1140	563	485 000	40,2	21,6	9,4	
G 9141	1976	105 600	2700	—	—	9,6	345	3 000	1068	512	295 000	25,3	4,6	5,8	50 Гц
PG 9141	1976	102 700	2750	111 300	2735	9,6	341	3 000	1128	549	646 000	42,7	14,6	11,6	
LM 2500	1979	20 100	—	—	—	18,0	65,4	3 600	1185	504	100 000	16,1	3,42	3,81	Компактная установка
PG 6441	1978	34 140	2840	36 900	2835	11,5	132,5	5 105	1140	560	318 000	40,2	7,3	10,4	
CURTIS — WRIGHT SYSTEMS															
Mod-Pod 9	1975	6 800	4240	—	—	5,3	46,3	7 500	871	529	20 400	5,8	0,30	3,4	Газовая турбина OT-F-370
Mod-Pod 9A	1975	7 000	4380	7 550	4340	5,3	48,1	7 500	871	529	20 400	5,8	0,30	3,4	Газовая турбина OT-F-390
Mod-Pod10	1975	9 300	3990	10 000	3955	7,6	65,9	7200	939	532	25 850	5,8	0,30	3,4	Газовая турбина OT-F-200
Mod-Pod 25HE	1976	21 000	2735	22 500	2700	18,1	87,1	3600/3000	1130	488	42 200	3,1	3,4	3,4	OLYMPUS C RB-211
Mod-Pod 50HE	1976	42 000	2735	45 000	2710	18,0	174	3600/3000	1130	488	84 400	9,1	3,4	3,4	Газогенератор RS-211×2
DETROIT DIESEL ALLISON															
GT-404	1980	252	2580	252	2585	4,0	1,36	2 880	1025	283	816	1,2	0,9	1,2	
GT-505	1980	322	2710	322	2715	4,0	1,82	2 880	1025	313	816	1,2	0,9	1,07	
570-KA	1979	4 512	3050	5 019	3060	11,2	19,1	11 500	851	621	613	1,8	0,76	0,76	
570-KB	1982	5 110	2860	5 530	2835	12,0	19,5	11 500	835	577	676	1,8	0,9	0,9	
GARRETT CORP.															
1E 831-800	1974	490	4310	565	4180	11,0	3,63	1 800	965	499	771	1,2	0,9	0,9	
ME 831-800	1974	285	6050	455	4240	11,0	3,63	8 000	965	499	726	1,5	0,9	0,9	
1E 990-50	1978	4 327	3040	4 663	—	12,0	19,5	1 800	1037	471	3 180	3,4	1;2	1,2	
BBC BROWN-BOVERI AND CO. LTD. (Швейцария), BROWN-BOVERI AND CIE AG (ФРГ) BROWN-BOVERI TURBOMACHINERY INC. (США)															
LGT 8/11	1979	210 000	1350	—	—	65,0	305	3 600	—	405	—	48	4,5	9,4	
N 520	1979	44 000	1930	—	—	8,0	—	3 000	—	—	80 000	10	3	3,3	Установка работает на азоте
N 720	1979	61 000	16505	—	—	7,0	—	3 000	—	—	—	10	3	3,3	На азоте, 50 Гц (60 Гц)

* Эксплуатация 6000 ч в год или более.
** Нижнее значение удельного расхода тепла.
*** Эксплуатация до 2000 ч в год.
1) Расчетная температура.

СОДЕРЖАНИЕ

ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТ-35-770 5
ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТЭ-45 8
ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТ-100-3М 10
ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТЭ-150 17
ГАЗОВАЯ УТИЛИЗАЦИОННАЯ БЕСКОМПРЕССОРНАЯ ТУРБИНА (ГУБТ) 20
ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА ГТТ-3М 23
КОМПЛЕКСНЫЙ МАШИННЫЙ АГРЕГАТ КМА-2 27
ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ ЗАРУБЕЖНЫХ ФИРМ ДЛЯ ПРИВОДА ГЕНЕРАТОРОВ 37

14-85-02

Ведущий редактор *Н. А. Меняйлова*
Редактор *С. Г. Белошенко*
Технический редактор *В. П. Шиц*
Корректор *Т. А. Звездочетова*

Сдано в набор 24.06.85. Подписано в печать 04.09.85. Т-18722 Формат 60×90 1/8.
Печать высокая. Усл. кр.-отт. 6,0. Усл. печ. л. 5,5 Уч.-изд. л. 5,0.
Зак. типогр. 1825. Тираж 675 экз. Зак. инст. 14-85-02. Цена 1 р.

Научно-исследовательский отдел анализа и обобщения
отраслевой информации. Тел. 203-27-79

НИИЭинформэнергомаш, 119825, Москва, ул. Волхонка, д. 5/6, строение 7.

Типография ВНИИТЭМР, г. Щербинка, ул. Типографская, д. 10